KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
REPUBLIK INDONESIA
2013

GARDU INDUK

Semester 3

Kelas
XI

KATA PENGANTAR

Kurikulum 2013 adalah kurikulum berbasis kompetensi. Di dalamnya dirumuskan secara terpadu kompetensi sikap, pengetahuan dan keterampilan yang harus dikuasai peserta didik serta rumusan proses pembelajaran dan penilaian yang diperlukan oleh peserta didik untuk mencapai kompetensi yang diinginkan.

Faktor pendukung terhadap keberhasilan Implementasi Kurikulum 2013 adalah ketersediaan Buku Siswa dan Buku Guru, sebagai bahan ajar dan sumber belajar yang ditulis dengan mengacu pada Kurikulum 2013. Buku Siswa ini dirancang dengan menggunakan proses pembelajaran yang sesuai untuk mencapai kompetensi yang telah dirumuskan dan diukur dengan proses penilaian yang sesuai.

Sejalan dengan itu, kompetensi keterampilan yang diharapkan dari seorang lulusan SMK adalah kemampuan pikir dan tindak yang efektif dan kreatif dalam ranah abstrak dan konkret. Kompetensi itu dirancang untuk dicapai melalui proses pembelajaran berbasis penemuan (*discovery learning*) melalui kegiatan-kegiatan berbentuk tugas (*project based learning*), dan penyelesaian masalah (*problem solving based learning*) yang mencakup proses mengamati, menanya, mengumpulkan informasi, mengasosiasi, dan mengomunikasikan. Khusus untuk SMK ditambah dengan kemampuan mencipta .

Sebagaimana lazimnya buku teks pembelajaran yang mengacu pada kurikulum berbasis kompetensi, buku ini memuat rencana pembelajaran berbasis aktivitas. Buku ini memuat urutan pembelajaran yang dinyatakan dalam kegiatan-kegiatan yang harus dilakukan peserta didik. Buku ini mengarahkan hal-hal yang harus dilakukan peserta didik bersama guru dan teman sekelasnya untuk mencapai kompetensi tertentu; bukan buku yang materinya hanya dibaca, diisi, atau dihafal.

Buku ini merupakan penjabaran hal-hal yang harus dilakukan peserta didik untuk mencapai kompetensi yang diharapkan. Sesuai dengan pendekatan kurikulum 2013, peserta didik diajak berani untuk mencari sumber belajar lain yang tersedia dan terbentang luas di sekitarnya. Buku ini merupakan edisi ke-1. Oleh sebab itu buku ini perlu terus menerus dilakukan perbaikan dan penyempurnaan.

Kritik, saran, dan masukan untuk perbaikan dan penyempurnaan pada edisi berikutnya sangat kami harapkan; sekaligus, akan terus memperkaya kualitas penyajian buku ajar ini. Atas kontribusi itu, kami ucapkan terima kasih. Tak lupa kami mengucapkan terima kasih kepada kontributor naskah, editor isi, dan editor bahasa atas kerjasamanya. Mudah-mudahan, kita dapat memberikan yang terbaik bagi kemajuan dunia pendidikan menengah kejuruan dalam rangka mempersiapkan generasi seratus tahun Indonesia Merdeka (2045).

Jakarta, Januari 2014

Direktur Pembinaan SMK

Drs. M. Mustaghfirin Amin, MBA

DAFTAR ISI

BAB I
PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sesuai dengan dinamika perkembangan pendidikan, khususnya pendidikan kejuruan, disamping perkembangan pendidikan itu sendiri, dinamikanya juga harus selalu menyelaraskan diri dengan perkembangan dunia usaha dan industri (DUDI). Oleh sebab itu, dalam setiap perkembangan DUDI tersebut harus segera direspon dalam pelaksanaan pendidikan kejuruan. Cara meresponnya adalah dengan memperoleh informasi melalui berbagai cara, salah satunya adalah melalui media pembelajaran berupa Bahan Ajar yang selalu harus diperbaharui sesuai dengan perkembangan tersebut.

Bahan Ajar ini secara khusus ditulis bagi siswa SMK, dengan peminatan Teknik Ketenagalistrikan secara umum. Dimana cara penyajian bahan ajar ini disesuaikan dengan pengalaman seorang guru produktif SMK secara umum.

Mempelajari dengan benar topik-topik materi yang terkandung dalam bahan ajar ini, akan membantu siswa SMK untuk menguasai materi tentang **Gardu Induk** dalam lingkup peminatan Teknik Ketenagalistrikan.

Untuk mendalami bahan ajar Gardu Induk, siswa sebaiknya telah mendalami materi Teknik Listrik dan materi Jaringan Tenaga Listrik. Selanjutnya materi Gardu Induk sebagai pendukung untuk mempelajari materi-materi Teknik Jaringan Tenaga Listrik.

B. Deskripsi Bahan Ajar

Dalam bahan ajar ini akan dibahas tentang pemasangan dan pemeliharaan instalasi Tenaga listrik, yang meliputi bahasan : Pengertian dan Fungsi serta Jenis-jenis Gardu Induk, Komponen Sipil dan Mekanikal Gardu Induk, Gardu Distribusi, Gardu Beton dan Gardu Tiang.

Bahan ajar ini menggunakan sistem pelatihan dengan pendekatan kompetensi, yakni salah satu cara untuk menyampaikan atau mengajarkan pengetahuan keterampilan dan sikap kerja yang dibutuhkan dalam suatu pekerjaan. Melalui

pendekatan apa yang dapat dilakukan setelah mengikuti pelatihan, dimana kompetensi adalah penguasaan individu secara aktual di tempat kerja. Meliputi identifikasi apa yang harus dikerjakan, prestasi yang diraih, dan memastikan elemen kompetensi tercakup, serta proses penilaian.

C. Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti seluruh kegiatan pembelajaran yang terdapat pada bahan ajar ini siswa diharapkan mampu mendiskripsikan, mengidentifikasi jenis-jenis gardu induk, dengan ruang lingkup materi :

- Pengertian dan Fungsi serta Jenis-jenis Gardu Induk.
- Komponen Sipil dan Mekanikal Gardu Induk.
- Gardu Distribusi
- Gardu Beton
- Gardu Tiang
- Pembumian Peralatan dan Sistem pada Gardu Induk.

D. Materi Pokok dan Sub Materi Pokok

No	Materi Pokok	Sub Materi Pokok
1	Pengertian dan Fungsi serta Jenis-jenis Gardu Induk.	• Pengertian • Kalsifikasi Gardu Induk • Peralatan dan Fasilitas Gardu Induk • Fungsi dari peralatan Gardu Induk
2	Komponen Sipil dan Mekanikal Gardu Induk	• Komponen Sipil dan Mekanikal pada Switchyard • Switchyard (Switchgear) • Gedung Kontrol • Sistem Proteksi • Komponen Listrik Penunjang
3	Gardu Induk Distribusi	• Deskripsi Umum • Jenis-jenis Gardu Distribusi • Komponen Utama Kontruksi dan

No	Materi Pokok	Sub Materi Pokok
		spesifikasi Material.
4	Gardu Beton	• Standar Tata Letak (*lay out*) • Konstruksi Instalasi Gardu Beton • Pemasangan Instalasi. • Penyelenggaraan Konstruksi Gardu Beton
5	Gardu Tiang	• Ruang Bebas Hambatan (*Right of Way*) Jarak Aman (*Safety Distance*) • Spesifikasi Peralatan Gardu Tiang • Jenis Konstruksi Gardu Tiang • Penyelenggaraan konstruksi
6	Pembumian Peralatan dan Sistem pada Gardu Induk.	• Pengertian Umum • Macam atau Janis Pembumian Sistem • Pembumian Netral Langsung • Pembumian Netral melalui Tahanan • Pembumian Netral Mengambang • Pembumian Netral Melalui Peterso Coil. • Pembumian Peralatan.

BAB II

PENGERTIAN, FUNGSI DAN JENIS-JENIS GARDU INDUK

Indikator Keberhasilan: *pengertian, fungsi dan jenis-jenis gardu induk dijelaskan, didiskripsikan dan diidentifikasi dengan benar.*

A. Pengertian.

Gardu induk adalah suatu instalasi yang terdiri dari peralatan listrik yang berfungsi untuk :

1) Mengubah tenaga listrik tegangan tingi yang satu ke tegangan tinggi yang lainnya atau tegangan menengah.
2) Pengukuran, pengawasan, operasi serta pengaturan pengamanan sistem tenaga listrik.
3) Pengaturan daya ke Gardu-Gardu Induk lain melalui tegangan tinggi dan Gardu-Gardu Distribusi melalui gawai tegangan menengah.

B. Klasifikasi Gardu Listrik.

Klasifikasi gardu listrik dapat dibedakan menurut dua hal :

1) Menurut lokasi dan fungsi.

Merurut lokasinya di dalam sistem tenaga listrik, fungsi dan tegangannya (tinggi,menengah atau rendah) maka gardu listrik dapat dibagi :

a) Gardu Induk.

Adalah gardu listrik yang mendapatkan daya dari satuan transmisi atau sub-transmisi suatu sistem tenaga listrik untuk kemudian menyalurkannya ke daerah beban (industri, kota dan sebagainya) melalui saluran distribusi primer.

Gambar 2-1. Gardu Induk Tramsmisi.

b) Gardu Distribusi.

Adalah gardu listrik yang mendapatkan daya dari saluran distribusi primer yang menyalurkan tenaga listrik ke pemakai dengan tegangan rendah.

Gambar 2-2. Gardu Distribusi.

2) Menurut penempatan peralatannya.

Menurut penempatannya, gardu listrik dapat dibagi :

a) Gardu Induk pemasangan dalam.

Gardu Induk dimana semua peralatannya (switchgear, isolator dansebagainya) di pasang di dalam gedung/ruangan tertutup.

b) Gardu Induk pemasangan luar.

Gardu Induk dimana semua peralatannya (switchgear, isolator dansebagainya) di tempatkan di udara terbuka.

3) Menurut isolasi yang digunakan.

Gardu Induk yang menggunakan isolasi udara :

- Adalah gardu induk yang menggunakan isolasi udara antara bagian yang bertegangan yang satu dengan bagian yang bertegangan lainnya.
- Gardu Induk ini berupa gardu induk konvensional (lihat gambar 2-3), memerlukan tempat terbuka yang cukup luas.

Gambar 2-3. Gardu induk konvensional.

Gardu Induk yang menggunakan isolasi gas SF 6 :

- Gardu induk yang menggunakan gas SF 6 sebagai isolasi antara bagian yang bertegangan yang satu dengan bagian lain yang bertegangan, maupun antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan.
- Gardu induk ini disebut Gas Insulated Substation atau Gas Insulated Switchgear (GIS), yang memerlukan tempat yang sempit (lihat gambar 2-4).

Gambar 2-4. Gas Insulated Substation (GIS).

Secara prinsip peralatan yang dipasang pada GIS sama dengan peralatan yang dipakai GI Konvensional. Perbedaannya adalah :

- Pada GIS peralatan-peralatan utamanya berada dalam suatu selubung logam tertutup rapat, yang di dalamnya berisi gas bertekanan, yaitu gas SF 6 (*Sulphur Hexafluorida*).
- Gas SF 6 berfungsi sebagai isolasi switchgear dan sebagai pemadam busur api pada operasi Circuit Breaker (CB).
- Dengan demikian cara pemasangan GIS berbeda dengan GI Konvensional.

Pengembangan GIS :

- Pada mulanya GIS didesain dengan sistem selubung phasa tunggal.
- Dengan semakin majunya teknologi kelistrikan, maka saat ini sebagian besar GIS memakai desain selubung tiga phasa dimasukkan dalam satu selubung.
- Keuntungan sistem selubung tiga phasa adalah : lebih murah, lebih ringan, lebih praktis dan pemasangannya lebih mudah, meminimalkan kemungkinan terjadinya kebocoran gas dan lebih sederhana susunan isolasinya.

Pertimbangan penggunaan gas SF 6 dalam GIS, adalah :

- Kekuatan dielektrik tinggi, yaitu pada tekanan udara normal sebesar 2,5 kali dielektrik udara.
- Tidak mudah terbakar dan tidak berbau.
- Tidak beracun dan tidak berwarna.
- Mengikuti hukum gas-gas pada umumnya.
- Berat molekul 146 (udara 29).
- Kepekaan ± 6 kg/m^3 pada 0,1 MFA dan 10^0 C.

GIS-GIS yang terpasang di Indonesia, adalah GIS 150 KV :

- Dipasang di kota-kota besar dan terbatas hanya di Pulau Jawa.
- Sistem penyaluran (transmisi) menggunakan kabel tanah (SKTT).
- Hampir semua komponen GIS terpasang (ditempatkan) dalam gedung, kecuali transformator tenaga, pada umumnya dipasang (ditempatkan) di luar gedung.

Komponen listrik pada GIS merupakan suatu kesatuan yang sudah berwujud *rigid* (kompak). Untuk pemasangannya tinggal meletakkan di atas pondasi.

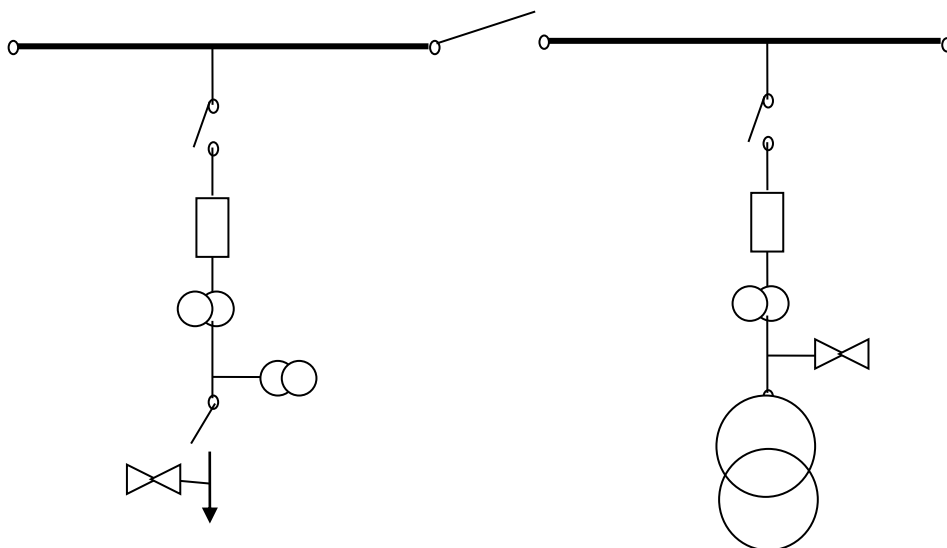
4) **Menurut sistem rel (busbar).**

Rel (busbar) merupakan titik hubungan pertemuan (*connecting*) antara transformator daya, SUTT/ SKTT dengan komponen listrik lainnya, untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik. Berdasarkan sistem rel (busbar), gardu induk dibagi menjadi beberapa jenis, sebagaimana tersebut di bawah ini :

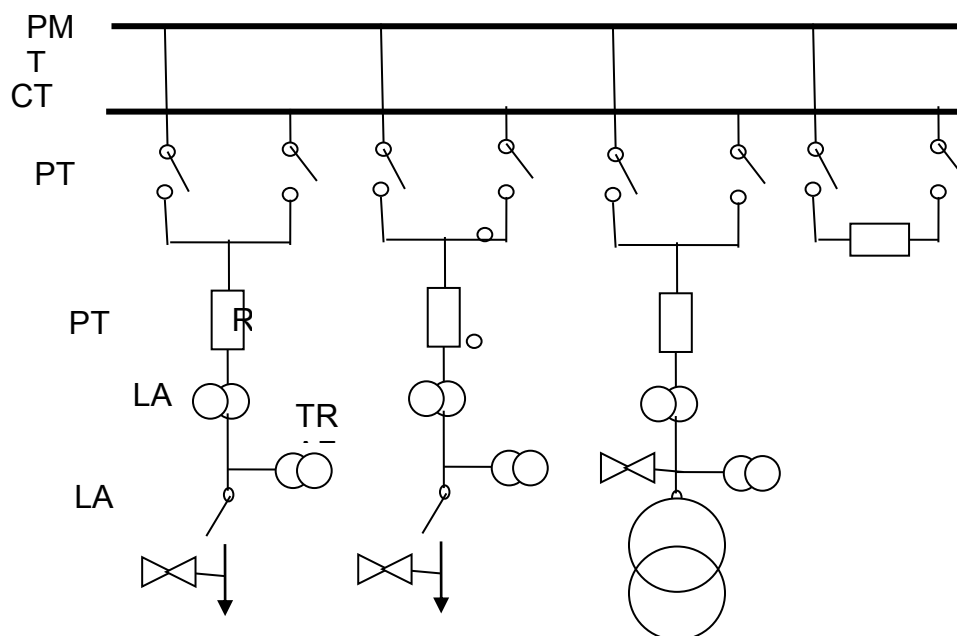
Gardu Induk sistem ring busbar :

- Adalah gardu induk yang busbarnya berbentuk ring.
- Pada gardu induk jenis ini, semua rel (busbar) yang ada, tersambung (terhubung) satu dengan lainnya dan membentuk ring (cincin).

Gardu Induk sistem single busbar :

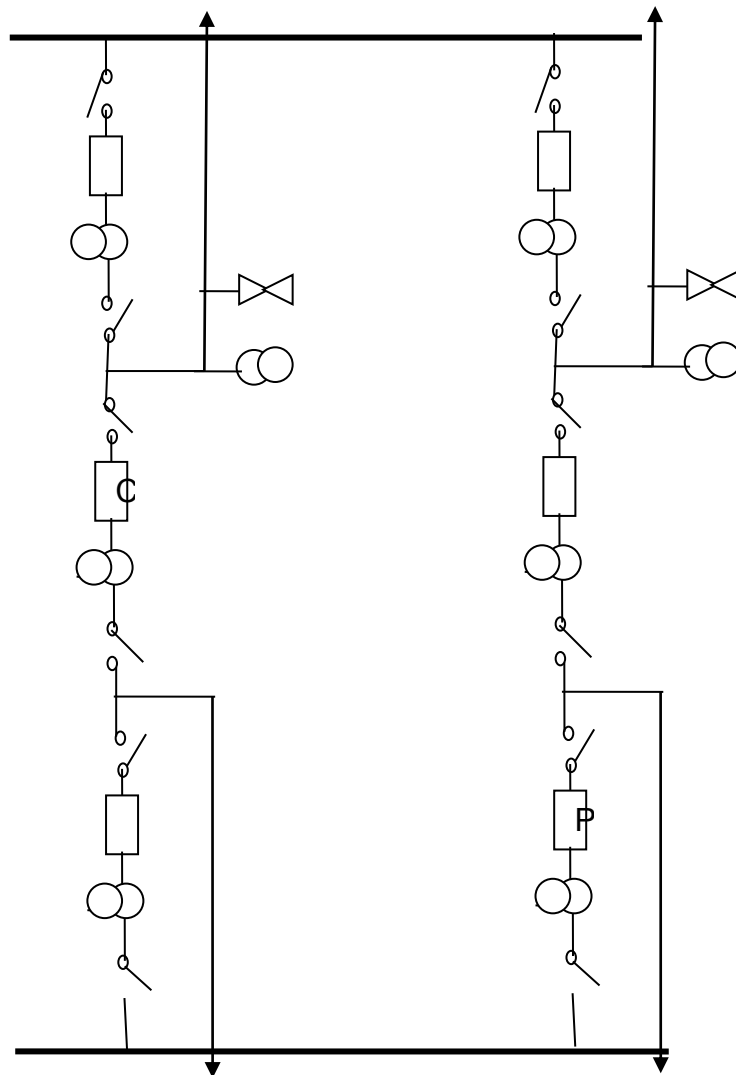
- Adalah gardu induk yang mempunyai satu (single) busbar.
- Pada umumnya gardu dengan sistem ini adalah gardu induk yang berada pada ujung (akhir) dari suatu sistem transmisi.
- Single line diagram gardu sistem single busbar, lihat gambar 2-5.

Gambar 2-5 : Single line diagram gardu induk single busbar

Gardu Induk sistem double busbar :

- Adalah gardu induk yang mempunyai dua (double) busbar.
- Gardu induk sistem double busbar sangat efektif untuk mengurangi terjadinya pemadaman beban, khususnya pada saat melakukan perubahan sistem (*manuver sistem*).
- Jenis gardu induk ini pada umumnya yang banyak digunakan.
- Single line diagram gardu induk sistem busbar ganda (*double busbar*), lihat gambar 2-6.

Gambar 2-6. Single line diagram gardu induk sistem double busbar.

Gardu Induk sistem satu setengah (*on half*) busbar :

- Adalah gardu induk yang mempunyai dua (*double*) busbar.
- Pada umumnya gardu induk jenis ini dipasang pada gardu induk di pembangkit tenaga listrik atau gardu induk yang berkapasitas besar.
- Dalam segi operasional, gardu induk ini sangat efektif, karena dapat mengurangi pemadaman beban pada saat dilakukan perubahan sistem (*manuver system*).

- Sistem ini menggunakan 3 buah PMT dalam satu diagonal yang terpasang secara deret (seri). Single line diagram, lihat gambar 2-7.

Gambar 2-7. Single line diagram gardu induk satu setengah busbar

C. Peralatan dan Fasilitas Gardu Induk.

Peralatan dan Fasilitas suatu Gardu Induk pada umumnya adalah :

1) **Instalasi transformator tenaga dan peralatan penyaluran tenaga listrik yang terdiri dari :**
   a) Trafo tenaga.
   b) Peralatan tegangan tinggi (sisi primer), antara lain :

- Lightning arrester.
- Spark rod.
- Pemutus tenaga (PMT).
- Saklar pemisah (PMS).
- Trafo arus (CT).
- Trafo tegangan (PT).

c) Peralatan tegangan menengah (sisi sekunder).

Peralatan untuk tegangan menengah (sisi sekunder) ragamnya adalah sama dengan peralatan untuk tegangan tinggi (sisi primer).

d) Peralatan kontrol.

Digunakan untuk mengontrol palayanan gardu induk dari suatu tempat dari dalam gedung kontrol yang terdiri dari :

- Panel kontrol.
- Panel relay.
- Meter-meter pengukuran.
- Peralatan telekomunikasi (telepon, PLC dan radio pemancar).
- Batere dan rectifier.
- Dan lain-lain.

e) Peralatan lain.

Kecuali peralatan yang disebut diatas masih ada perlatan-peralatan seperti :

- Petersen coil.
- Reaktor
- Statik kapasitor.
- Resisitor dan lain-lain

Gunanya untuk memperbaiki sistem penyaluran tenaga listrik.

2) Fasilitas Gardu Induk yang terdiri atas :

a) Gedung Kontrol.

b) Ruangan Batere.

c) Bangunan-bangunan lainnya.

D. Fungsi dari Peralatan Gardu Induk.

1) Lighting arrester

Berfungsi untuk mengamankan instalasi (peralatan listrik pada instalasi) dari gangunan tegangan lebih yang di akibatkan oleh sambaran petir maupun oleh surya petir.

2) Pemisah (PMS).

a) Pemisah tanah

Berfungsi untuk mengamankan peralatan dari sisa tegangan yang timbul sesudah SUTT di putuskan, atau induksi tegangan dari penghantar, hal ini perlu untuk keamanan dari orang yang bekerja pada instalasi.

b) Pemisah peralatan.

Berfungsi untuk mengisolasi peralatan listrik dari peralatan yang bertegangan. Pemisah di operasikan tanpa beban.

3) Pemutus tenaga (PMT).

Berfungsi untuk memutuskan hubungan tenaga listrik dalam keadaan gangguan maupun dalam keadaan berbeban dan proses ini harus dapat dilakukan dengan cepat.

Pemutus tenaga listrik dalam keadaan gangguan akan menimbulkan arus yang relatif besar, pada saat tersebut PMT bekerja sangat berat. Bila kondisi peralatan PMT menurun karena kurangnya pemeliharaan, sehingga tidak sesuai lagi kemampuan dengan daya yang di putuskannya, maka PMT tersebut akan dapat rusak (meledak).

4) Trafo tegangan

Berfungsi untuk menurunkan tegangan tinggi menjadi tegangan rendah, yang di perlukan untuk alat-alat ukur (pengukuran) dan alat pengaman (proteksi).

5) **Trafo arus.**
Berfungsi untuk menurunkan arus besar pada tegangan tinggi menjadi arus kecil pada tegangan rendah untuk keperluan pengukuran dan pengaman (proteksi).

6) **Rail (busbar).**
Berfungsi sebagai titik pertemuan/hubungan trafo-trafo tenaga, SUTT-SUTT dan peraltan listrik lainnya untuk menerima dan menyalurkan tenaga/daya listrik.
Bahan dari rail umumnya terbuat dari bahan tembaga (bar copper, atau hollow konduktor), ACSR : almalec atau alumunim (busbar alumunium atau *hollw conductor*).

7) **Trafo tenaga.**
Trafo tenaga berfungsi menyalurkan tenaga/daya dari tegangan tinggi atau sebaliknya (mentransformasikan tegangan).

8) **Panel kontrol.**
Jenis-jenis panel kontrol yang ada dalam suatu Gardu Induk terdiri dari panel kontrol utama, panel relay, panel pemakaian sendiri.
a) Panel kontrol utama terdiri dari panel instrumen dan panel oprasi. Pada panel instrumen terpasang alat-alat ukur dan indikator gangguan dari panel ini alat-alat tersebut dapat diawasi dalam keadaan beroperasi.
Pada panel operasi terpasang saklar operasi dari pemutus tenaga, pemisah serta lampu indikator posisi sakelar dan diagram rail.
Diagram rail (mimic bus), sakelar dan lampu indikator diatur letak dan hubungannya sesuai dengan rangkaian yang sesungguhnya sehingga keadaannya dapat dilihat dengan mudah.

Gambar 2-3. Panel Kontrol Utama.

b) Pada panel relay terpasang relay pengaman untuk SUTT, relay pengaman untuk trafo dan sebagainya.

   Bekerjanya relay dapat diketahui dari penunjukan pada relay itu sendiri dan pada indikator gangguan dipanel kontrol utama.

   Pada Gardu Induk ada yang memanfaatkan sisi depan dari panel dipakai sebagai panel utama dengan instrumen dan sakelar, kemudian sisi belakangnya dipakai sebagai panel relay, dan ada pula pada Gardu Induk jika rangkaiannya sudah rumit, maka panel relay terpasang dalam panel tersendiri.

Gambar 2-4. Panel Relay.

9) Batere.

Sumber tenaga untuk sistem kontrol dan proteksi selalu harus mempunyai keandalan dan stabilitas yang tinggi, maka batere dipakai sebagai sumber tenaga kontrol dan proteksi di dalam Gardu Induk.

Peranan dari batere adalah sangat penting karena justru pada saat gangguan terjadi, batere inilah yang merupakan sumber tenaga untuk menggerakan alat-alat kontrol dan proteksi.

Ada dua jenis batere yang dikenal antara lain :

- Batere timah hitam (*lead acid storage battery*).
- Batere alkali (*alkaline storage battery*).

10) Sistem pembumian titik netral.

Pembumian titik netral suatu sistem dapat melalui kumparan Petersen, tahanan (resistor) atau langsung (solidly) yang berfungsi untuk menyalurkan arus ganguan phasa ke bumi pada sistem.

Arus yang melalui pembumian merupakan besaran ukur untuk alat proteksi.

Pada trafo yang sisi primernya dibumikan dan sisi sekundernya juga dibumikan, maka gangguan phasa kebumi disisi primer selalu dirasakan pada sisi sekunder dan sebaliknya.

11) Kapasitor.

Kapasitor berfungsi untuk memperbaiki faktor kerja dan tegangan dan jaringan tenaga listrik.

12) Reaktor.

Reaktor berfungsi untuk mengurangi/membatasi arus hubung singkat dan arus switching dalam jaringan tenaga listrik.

E. Sistem SCADA pada Gardu Induk.

Sistem SCADA dipakai terutama untuk meningkatkan pelayanan kepada para pelanggan listrik dengan cara mengurangi lama waktu padam dan kemudahan dalam mendapatkan data-data operasional serta posisi/ kedudukan gawai-gawai kendali pada instalasi listrik.

Terdapat tiga kontrol jarak jauh untuk maksud tersebut diatas :

- Tele metering
- Tele signal
- Tele control

1) Tele Metering – TM

Tele metering adalah melakukan pengukuran besaran-besaran operasi melalui pengamatan jarak jauh secara real time meliputi arus beban, tegangan kerja, frekwensi, KVA/kVAr, PF dan sebagainya.

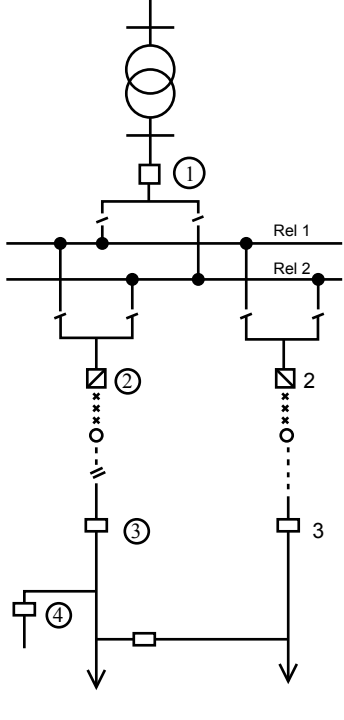
2) Tele Signal

Tele signal mendapatkan data posisi gawai-gawai kendali dalam posisi terbuka-tertutup misalnya, posisi saklar pada pemutus tenaga, pemisah penyulang, pemutus beban pada gardu distribusi/ key point dan gardu hubung.

3) Tele Control – TC

Tele control memberikan fasilitas membuka –menutup saklar pamutus tenaga dan pemutus beban pada gardu induk, gardu distribusi (middle point) dan gardu hubung serta key-point.

Fasilitas-fasilitas tersebut tersimpan dan ditempatkan pada peralatan yang disebut Remoted Terminal Unit-RTU. RTU ditempatkan pada lokasi-lokasi yang memerlukan fasilitas tele metering, tele kontrol dan tele signal.

Contoh : Lay-out diagram sistem scada di PT PLN distribusi Jakarta Raya dan Tangerang Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah.

	Bagan Satu Garis	Posisi	Fasilitas

	Bagan Satu Garis	Posisi	Fasilitas
Gardu Induk Penyulang TM Gardu Distribusi Gardu Hubung	Rel-1 Rel-2	1. PMT-income trafo gardu induk dan pemisah incoming rel I-II 2. PMT-dan pemisah outgoing penyulang 3. Load & break switch gardu tengah middle point 4. load break switch gardu hubung. 5. load break swicth gardu pelanggan khusus/VVIP	Tele mekanis Tele Mekanis Tele-signal Tele-Control Tele Signal Tele control Tele Signal Tele control Tele Signal Tele control

Contoh : lay –out diagram sistem SCADA PLN Distribusi Jakarta Raya dan Tangerang Saluran Udara Tegangan Menengah

Tabel

Lokasi			

Gardu Induk Saluran Udara Key-point		1. PMT dan pemisah incoming Rel 1-2 2. PMT dan pemisah outgoing penyulang 3,4 Key point loadbreak swicth pada gardu beton atau Pole mounted load break swicth.	Telemetering Tele metering Tele control Tele signal Tele control Tele signal

4) Gardu Tengah/Middle point dan key point

Pada penyulang saluran kabel tanah, middle point ditempatkan dengan konsep 50% : 50 %, sebelum dan sesudah titik/gardu tengah besar beban sama

Key point lebih banyak ditempatkan pada saluran udara tegangan menengah. Posisi penetapan berdasarkan pembagian kerja tegangan dan panjang jaringan.

Key point ditempatkan pada saluran udara tegangan menengah pada saluran udara.

<u>Fasilitas telekomunikasi</u>

Fasilitas telekomonikasi menggunakan :

- Kabel telepon, namun saat ini mulai diganti dengan fasilitas kabel fiber optik
- frekwensi radio, khususnya untuk telekomunikasi key pont dengan pusat pengendali.

Fasilitas Scada pada Middle Point

Titik middle point atau gardu tengah memberikan fasilitas telekontrol dan telesignal dilengkapi dengan :

- Remote terminal unit
- Kubikel load break swich dengan kemampuan motorized 24 volt atau 48 volt DC
- Power Supply DC dan UPS
- Fault indicator lamp
- Ring-O transformator arus

Perlengkapan ini pada dasarnya selaras dengan sistem dan teknologi yang dianut perusahaan listrik.

Fasilitas pada gardu hubung dan Key-Point

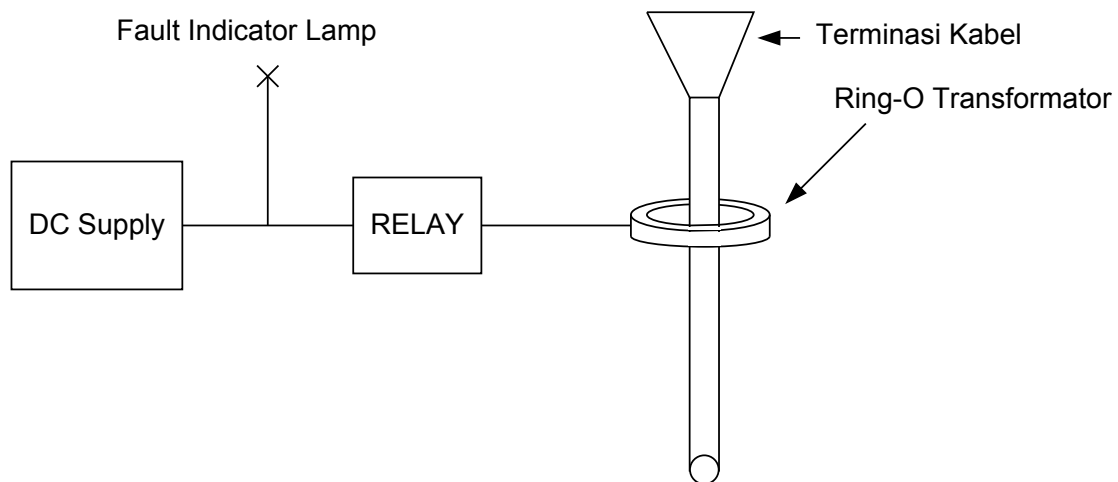
Pada gardu hubung tidak tersedia fault indicator lamp, sehingga hanya ada :

- Remote terminal unit
- Kubikel load break swich yang dilengkapi motor listrik
- Power supply DC dengan UPS

Fasilitas pada gardu distribusi dan Key Point

Pada gardu distribusi tersedia perlengkapan

- Fault indicator lamp
- Ring-O transformator pada terminal
- DC power supply dengan UPS

Lampu fault indicator terpasang pada pintu gardu, akan menyala jika dilewati arus gangguan tanah (homopolar current). Lampu harus direset untuk penormalan jika lokasi gangguan telah ditemukan

Pada Key Point dengan pemasangan pada tiang, fault indicator terpasang pada tiang untuk gardu tiang

BAB III

KOMPONEN SIPIL DAN MEKANIKAL GARDU INDUK

A. Komponen Sipil dan Mekanikal pada Switchyard.

1) Pondasi (tempat dudukan) peralatan :

- Transformator Daya.
- Circuit Breaker (CB).
- Disconnecting Switch (DS).
- Capasitor Voltage Transformer (CVT).
- Current Transformer (CT).
- Lightning Arrester (LA).
- Potential Transformer (PT).
- Potential Device (PD)
- Dan lain sebagainya.

2) Got kabel (*cable duct*) :

- Adalah tempat peletakan kabel yang menghubungkan antara peralatan di switchyard, maupun antara peralatan di switch yard dengan peralatan di gedung kontrol.
- Jenis (dimensi) kabel duct : D 250, D-300, D-400, D-600, D-900, D-1200 dan D- 1500 tergantung kebutuhan.
- Komponen mekanikal :
- Serandang, terdiri dari : serandang peralatan, serandang post, serandang beam.
- Rak kabel dan plat bordes untuk penutup got kabel.
- Pagar keliling GI.

3) Komponen sipil gedung kontrol, terdiri dari :

- Ruang peralatan kontrol (kendali) & ruang cubicle.
- Ruang operator.
- Ruang kantor GI.

- Ruang Relay
- Ruang komunikasi
- Ruang batery
- Pondasi peralatan (panel relay, panel kontrol, cubicle, dan lain-lain).
- Got kabel (*cable duct*).
- Dan lain sebagainya.

4) Komponen mekanikal, terdiri dari :
    - Air conditioning (AC).
    - Rak kabel yang dijadikan sebagai penempatan kabel, yang menghubungkan antara peralatan yang ada di *switch yard* dengan komponen yang ada di gedung kontrol, maupun yang menghubungkan komponen yang ada di gedung kontrol.

B. Switchyard (Switchgear).

Adalah bagian dari gardu induk yang dijadikan sebagai tempat peletakan komponen utama gardu induk.

Pemahaman tentang *switchyard*, pada umumnya adalah :

- Jika komponen utama gardu induk terpasang di area terbuka yang luas, maka disebut switch yard.
- Jika komponen utama gardu induk terpasang di area terbatas (sempit) dan di dalam gedung, maka disebut switchgear.
- Sebenarnya yang dimaksud switchgear, adalah peralatan yang ada di switch yard.

Jadi yang dimaksud switch yard, adalah nama yang diperuntukkan bagi gardu konvensional.

Sedangkan switchgear, adalah nama yang diperuntukkan bagi Gas Insulated Substation (GIS).

1) **Transformator Daya.**

Gambar 3-1. Transformator daya GI Konvensional.

- Berfungsi mentranformasikan daya listrik, dengan merubah besaran tegangannya, sedangkan frekuensinya tetap.
- Tranformator daya juga berfungsi untuk pengaturan tegangan.
- Transformator daya dilengkapi dengan trafo pentanahan yan berfungsi untuk mendapatkan titik neutral dari trafo daya. Peralatan ini disebut *Neutral Current Transformer (NCT)*.
- Perlengkapan lainnya adalah pentanahan trafo, yang disebut *Neutral Grounding Resistance (NGR).*

2) ***Neutral Grounding Resistance (NGR).***

Diperlukan proteksi yang praktis dan biasanya tidak terlalu mahal, karena karakteristik relay dipengaruhi oleh sistem pentanahan neutral.

Komponen yang dipasang antara titik neutral trafo dengan pentanahan. Berfungsi untuk memperkecil arus gangguan yang terjadi.

Gambar 3-2. *Neutral Grounding Resistance (NGR).*

3) *Circuit Breaker (CB).*

Adalah peralatan pemutus, yang berfungsi untuk memutus rangkaian listrik dalam keadaan berbeban (berarus).

CB dapat dioperasikan pada saat jaringan dalam kondisi normal maupun pada saat terjadi gangguan.

Karena pada saat bekerja, CB mengeluarkan (menyebabkan timbulnya) busur api, maka pada CB dilengkapi dengan pemadam busur api.

Pemadam busur api berupa :

- Minyak (OCB).
- Udara (ACB).
- Gas (GCB).

Gambar 3-3. *Circuit Breaker (CB).*

4) *Disconnecting Switch (DS).*

Disconnecting Switch (DS) adalah peralatan pemisah, yang berfungsi untuk memisahkan rangkaian listrik dalam keadaan tidak berbeban.

Dalam GI, DS terpasang di :

- Transformator Bay (TR Bay).
- Transmission Line Bay (TL Bay).
- Busbar.
- Bus Couple.

Karena DS hanya dapat dioperasikan pada kondisi jaringan tidak berbeban, maka yang harus dioperasikan terlebih dahulu adalah CB. Setelah rangkaian diputus oleh CB, baru DS dioperasikan.

Gambar 3-4. *Disconnecting Switch (DS).*

5) ***Lightning Arrester (LA).***

Gambar 3-5. *Lightning Arrester (LA).*

Lightning Arrester (LA) berfungsi untuk melindungi (pengaman) peralatan listrik di gardu induk dari tegangan lebih akibat terjadinya sambaran petir (lightning surge) pada kawat transmisi, maupun disebabkan oleh surya hubung (*switching surge*).

Dalam keadaan normal (tidak terjadi gangguan), LA bersifat isolatif atau tidak bisa menyalurkan arus listrik.

Dalam keadaan terjadi gangguan yang menyebabkan LA bekerja, maka LA bersifat konduktif atau menyalurkan arus listrik ke bumi.

6) ***Current Transformer (CT).***

Berfungsi merubah besaran arus dari arus yang besar ke arus yang kecil atau memperkecil besaran arus listrik pada sistem tenaga listrik, menjadi arus untuk sistem pengukuran dan proteksi.

Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer, yaitu memisahkan instalasi pengukuran dan proteksi tegangan tinggi.

Gambar 3-6. *Current Transformer (CT).*

7) ***Potential Transformer (PT)***

Berfungsi untuk merubah besaran tegangan dari tegangan tinggi ketegangan rendah atau memperkecil besaran tegangan listrik pada

sistem tenaga listrik, menjadi besaran tegangan untuk pengukuran dan proteksi.

Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer, dengan memisahkan instalasi pengukuran dan proteksi tegangan tinggi.

Gambar 3-7. Potential Transformer (PT)

8) TRANSFORMATOR PEMAKAIAN SENDIRI (TPS)

Berfungsi sebagai sumber tegangan AC 3 phasa 220/ 380 Volt.

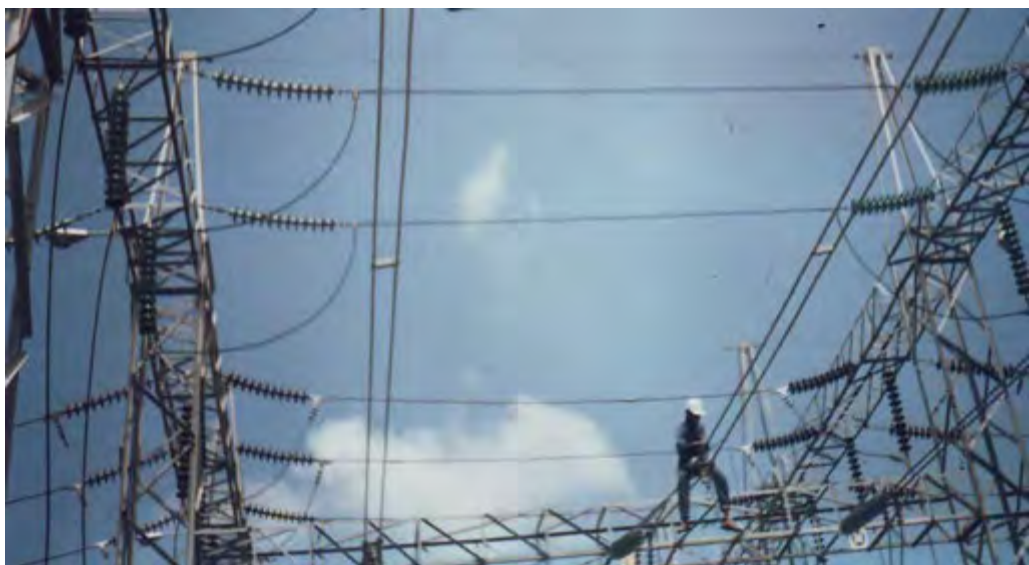
Digunakan untuk kebutuhan intern gardu induk, antara lain untuk :

- Penerangan di swtich yard, gedung kontrol, halaman GI dan sekeliling GI
- Alat pendingin (AC).
- Rectifier.
- Pompa air dan motor-motor listrik.

Peralatan lain yang memerlukan listrik tegangan rendah.

Gambar 3-8.Trafo Pemakaian Sendiri (TPS).

9) REL (BUSBAR).

Berfungsi sebagai titik pertemuan/hubungan (*connecting*) antara transformator daya, SUTT, SKTT serta komponen listrik lainnya yang ada pada *switchyard*.

Gambar 3-9. Rel (busbar) pada GI Konvensional.

Komponen rel (busbar) antara lain :

- Konduktor (AAAC, HAL, THAL, BC, HDCC).
- Insulator String & Fitting (Insulator,Tension Clamp, Suspension Clamp, Socket Eye, Anchor Sackle, Spacer).

C. Gedung Kontrol.

Berfungsi sebagai pusat aktifitas pengoperasian gardu induk.

Pada gedung kontrol inilah operator bekerja mengontrol dan mengoperasikan komponen-komponen yang ada di gardu induk.

Gambar 3-10. Gedung kontrol GIS.

1) PANEL KONTROL (*CONTROL PANEL*).

Berfungsi untuk mengetahui (mengontrol) kondisi gardu induk dan merupakan pusat pengendali lokal gardu induk.

Didalamnya berisi sakelar, indikator-indikator, meter-meter, tombol-tombol komando operasional PMT, PMS dan alat ukur besaran listrik, serta announciator. Berada satu ruangan dengan tempat operator bekerja. Terdiri dari :

- Transmission line control panel (TL control panel).
- Transformator control panel (TL control panel).

- Fault recorder control panel.
- KWh meter dan fault recorder panel.
- LRT control panel.
- Bus couple control panel.
- AC/DC control panel.
- Syncronizing control panel.
- Automatic FD switching panel.
- D/L control panel.

Gambar 3-11. Panel kontrol.

2) PANEL PROTEKSI (PROTECTION PANEL/ RELAY PANEL).

Tempat almari relay-relay pengaman yang dikelompokkan dalam bay, sehingga mudah dalam pengontrolan dan operasionalnnya. Berfungsi untuk memproteksi (melindungi sistem jaringan gardu induk) pada saat terjadi gangguan maupun karena kesalahan operasi. Didalamnya berisi peralatan-peralatan elektro dan elektronik, dan lain-lain yang bersifat presisi.

Untuk mempertahankan kondisi ideal dan presisi panel proteksi, maka diperlukan alat pendingin dengan suhu tertentu dan harus kontinyu.

Setiap relay yang terpasang dan panel proteksi, diberi nama relay sesuai fungsinya. Relay panel tediri dari :

- Transmission line relay panel (relay panel TL).
- Transformator relay panel (relay panel TR).
- Busbar protection relay panel.

Gambar 3-12. Panel proteksi.

3) SUMBER DC GARDU INDUK.

Baterry :

- Alat yang menghasilkan sumber tenaga listrik arus searah yang diperoleh dari hasil proses kimia.
- Sumber DC berfungsi untuk menggerakkan peralatan kontrol, relay pengaman, motor penggerak CB, DS, dan lain-lain.
- Sumber DC ini harus selalu terhubung dengan rectifier dan harus diperiksa secara rutin kondisi air, kebersihan dan berat jenisnya.

Rectifier :

- Alat listrik yang berfungsi untuk merubah arus bolak-bolik menjadi arus searah, sesuai dengan kapasitas yang diperlukan (kapasitas battery).

▪ Rectifier harus selalu terhubung dengan battery dan harus diperiksa kondisi batterynya secara periodik dan rutin.

Gambar 3-13. Batere sumber arus DC.

4) CUBICLE 20 KV (HV CELL 20 KV).

Adalah sistem switchgear untuk tegangan menengah (20KV) yang berasal dari output trafo daya, yang selanjutnya diteruskan ke konsumen melalui penyulang (feeder) yang tersambung (terhubung) dengan cubicle tersebut.

Gambar 3- 14. Cubicle 20 kV.

Dari penyulang (*feeder*) inilah listrik disalurkan atau didistribusikan ke pusat-pusat beban. Komponen dan rangkaian *cubicle*, antara lain :

- Panel penghubung (*couple*).
- Incoming cubicle.
- *Circuit breaker (CB)* dan *Current Transformer (CT)*.
- Komponen Proteksi dan pengukuran.
- *Bus sections.*
- *Feeder* atau penyulang.

D. SISTEM PROTEKSI.

Sistem proteksi adalah suatu sistem pengaman terhadap peralatan listrik, yang diakibatkan adanya gangguan teknis, gangguan alam, kesalahan operasi dan penyebab yang lainnya.

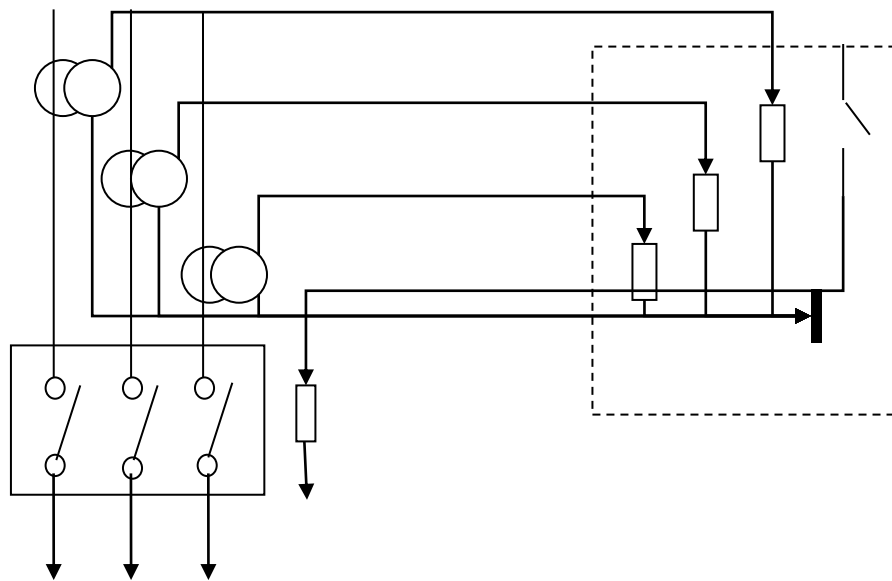
Beberapa peralatan listrik pada gardu induk yang perlu diamankan adalah :

- Transformator Daya.
- Rel (busbar).
- Penghantar :
  - ✓ Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT).
  - ✓ Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT).
  - ✓ Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET).
- Penyulang 20 KV.

1) PROTEKSI TRANSFORMATOR DAYA.

Relay Arus Lebih :

Berfungsi mengamankan trafo dari gangguan hubung singkat (*short circuit*) antara phasa di dalam maupun di luar daerah pengamanan trafo.

Gambar 3-15. Proteksi Relay Arus lebih.

Gambar 3-16. Bagan (rangkaian) Proteksi Relay Arus Lebih.

Relay Differensial :

Berfungsi mengamankan trafo dari gangguan hubung singkat (*short circuit*) yang terjadi di dalam daerah pengaman trafo.

Gambar 3-17. Relay Differensial.

Relay Gangguan Tanah Terbatas :

Berfungsi untuk mengamankan Transformator Daya terhadap tanah di dalam daerah pengaman trafo, khususnya gangguan di dekat titik netral yang tidak dapat dirasakan oleh Relay Differensial.

Relay Arus Lebih Berubah :

Berfungsi untuk mengamankan Transformator Daya dari gangguan antara phasa dan tiga phasa dan bekerja pada arah tertentu.

Relay Gangguan Tanah :

Berfungsi mengamankan Transformator Daya dari gangguan hubung tanah, di dalam dan di luar daerah pengaman trafo.

Relay Tangki Tanah :

Berfungsi untuk mengamankan Transformator Daya terhadap hubung singkat (short circuit) antara phasa dengan tangki trafo dan trafo yang titik netralnya ditanahkan.

Relay Suhu :

Berfungsi untuk mendeteksi suhu minyak trafo dan kumparan secara langsung, yang akan membunyikan alarm serta mentripkan Circuit Breaker

Relay Jansen :

Berfungsi untuk mengamankan pengubah/ pengatur tegangan (Tap Changer) dari Trafo.

Relay Bucholz :

Berfungsi mendeteksi adanya gas yang ditimbulkan oleh loncatan bunga api dan pemanasan setempat dalam minyak trafo.

Gambar 3-18. Relay Bucholz.

Relay Tekanan Lebih :

Berfungsi mengamankan Transformator Daya dari tekanan lebih. Bagi Trafo tanpa konservator, dipasang relay tekanan mendadak dipasang pada tangki dan bekerja dengan pertolongan.

2) PROTEKSI PENGHANTAR SUTT/ SKTT

Relay Jarak :

Berfungsi mengamankan Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dari gangguan antar phasa maupun gangguan hubungan tanah.

Relay Differential Pilot Kabel :

Berfungsi mengamankan Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT) dan juga Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) yang pendek dari gangguan antar phasa maupun gangguan hubung singkat (*short circuit*).

Gambar 3-19. Relay Differential Pilot Kabel.

Relay Arus Lebih Berarah :

Berfungsi mengamankan Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dari gangguan antar phasa dan hanya bekerja pada satu arah. Relay ini dapat membedakan arah arus gangguan.

Relay Arus Lebih :

Berfungsi mengamankan Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan gangguan antara phasa maupun gangguan hubungan tanah.

Relay Tegangan Lebih :

Berfungsi mengamankan Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) atau Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT) terhadap tegangan lebih.

Relay Gangguan Tanah :

Berfungsi mengamankan Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) terhadap gangguan hubung tanah.

Relay Penutup Balik :

Berfungsi mengamankan kembali Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) akibat gangguan hubung singkat temporer.

3) PROTEKSI BUSBAR & PROTEKSI PENYULANG 20 KV

Proteksi Busbar :

Untuk mengamankan busbar terhadap gangguan yang terjadi, digunakan relay differential.

Proteksi Penyulang 20 KV, digunakan :

- Relay Arus Lebih.
- Relay Arus Lebih Berarah.
- Relay Hubung Tanah.

E. KOMPONEN LISTRIK PENUNJANG

- Konduktor tembaga atau plat tembaga untuk grounding peralatan.
- *Cable Schoon BC* untuk grounding peralatan.
- *Ground Rod* untuk instalasi pembumian peralatan.
- GSW atau ground wire (kawat pentanahan).
- Klem-klem untuk GSW, terdiri dari : Tension Clamp, Jumper Clamp, PG Clamp.
- Kabel kontrol, yang terdiri dari jenis kabel : NYY, CVVS, NYM, NYMT, NYCY, dan lain-lain. Kabel-kabel ini terdiri dari berbagai ukuran.
- Kabel Power 20 KV (XLPE atau jenis lainnya).
- Termination kit dan sepatu kabel.
- Komponen pengatur beban.

- Komponen SCADA.
- Instalasi penerangan dalam gedung maupun pada halaman (sekitar gedung kontrol) dan pada *switch yard*.
- Instalasi Air Conditioning pada gedung kontrol.

Gambar 3-20. Komponen scada.

BAB IV

GARDU DISTRIBUSI

A. Deskripsi Umum.

Pengertian umum Gardu Distribusi tenaga listrik yang paling dikenal adalah suatu bangunan gardu listrik berisi atau terdiri dari instalasi Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Transformator Distribusi (TD) dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) untuk memasok kebutuhan tenaga listrik bagi para pelanggan baik dengan Tegangan Menengah (TM 20 kV) maupun Tegangan Rendah (TR 220/380V).

Konstruksi gardu distribusi dirancang berdasarkan optimalisasi biaya terhadap maksud dan tujuan penggunaannya yang kadang kala harus disesuaikan dengan peraturan Pemda setempat.

Secara garis besar gardu distribusi dibedakan atas :

1) Jenis pemasangannya :
    a) Gardu pasangan luar : Gardu Portal, Gardu Cantola
    b) Gardu pasangan dalam : Gardu Beton, Gardu Kios

2) Jenis Konstruksinya :
    a) Gardu Beton (bangunan sipil : batu, beton
    b) Gardu Tiang : Gardu Portal dan Gardu Cantol.
    c) Gardu Kios

3) Jenis Penggunaannya :

a) Gardu Pelanggan Umuma

b) Gardu Pelanggan Khusus

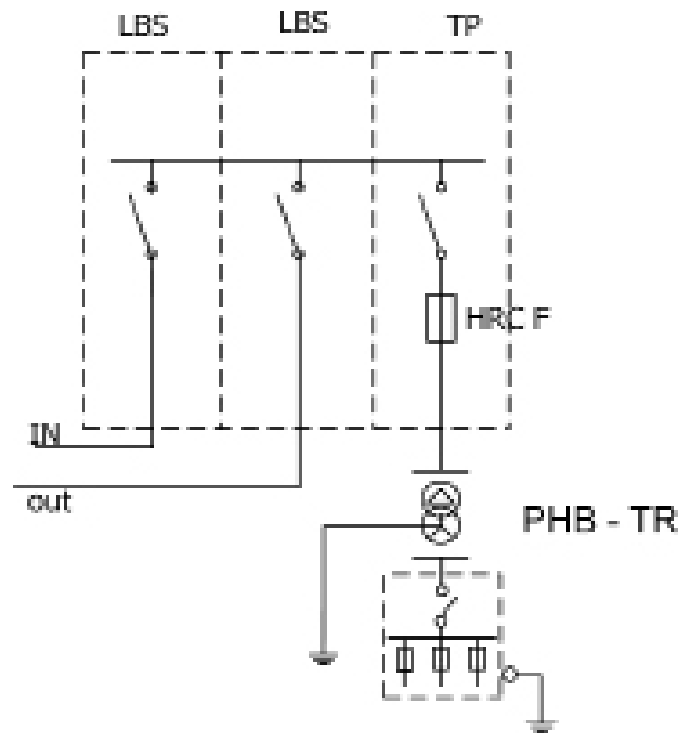
Khusus pengertian Gardu Hubung adalah gardu yang ditujukan untuk memudahkan mengalihkan pembebanan dari satu penyulang ke penyulang lain yang dapat dilengkapi/tidak dilengkapi RTU (*Remote Terminal Unit*). Untuk fasilitas ini lazimnya dilengkapi fasilitas *DC Supply* dari Trafo Distribusi pemakaian sendiri atau trafo distribusi untuk umum yang diletakkan dalam satu kesatuan.

B. Jenis-jenis Gardu Distribusi.

1) Gardu Portal

Gambar 4-1. Gardu Portal.

Umumnya konfigurasi Gardu Tiang yang dicatu dari SUTM adalah *T section* dengan peralatan pengaman Pengaman Lebur *Cut-Out (FCO)* sebagai pengaman hubung singkat transformator dengan elemen pelebur (*pengaman lebur link type expulsion*) dan *Lightning Arrester* (LA) sebagai sarana pencegah naiknya tegangan pada transformator akibat surja petir.

Untuk Gardu Tiang pada sistem jaringan lingkaran terbuka (*open-loop*), seperti pada sistem distribusi dengan saluran kabel bawah tanah, konfigurasi peralatan adalah ***π section*** dimana transformator distribusi dapat di catu dari arah berbeda yaitu posisi ***Incoming – Outgoing*** atau sebaliknya.

Gambar 4-2. Bagan satu garis konfigurasi π section Gardu Portal.

Guna mengatasi faktor keterbatasan ruang pada Gardu Portal, maka digunakan konfigurasi switching/proteksi yang sudah terakit ringkas sebagai RMU (*Ring Main Unit*). Peralatan switching incoming-outgoing berupa Pemutus Beban atau LBS (*Load Break Switch*) atau Pemutus Beban Otomatis (PBO) atau CB (*Circuit Breaker*) yang bekerja secara manual (atau digerakkan dengan *remote control*).

Fault Indicator (dalam hal ini PMFD : *Pole Mounted Fault Detector*) perlu dipasang pada section jaringan dan percabangan untuk memudahkan pencarian titik gangguan, sehingga jaringan yang tidak mengalami gangguan dapat dipulihkan lebih cepat.

2) Gardu Cantol

Pada Gardu Distribusi jenis cantol, transformator yang terpasang adalah transformator dengan daya ≤ 100 kVA Fase 3 atau Fase 1.

Transformator terpasang adalah jenis CSP (*Completely Self Protected Transformer*) yaitu peralatan switching dan proteksinya sudah terpasang lengkap dalam tangki transformator.

Gambar 4-3. Gardu jenis cantol.

Perlengkapan perlindungan transformator tambahan LA (*Lightning Arrester*) dipasang terpisah dengan Penghantar pembumiannya yang dihubung langsung dengan badan transformator. Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) maksimum 2 jurusan dengan saklar pemisah pada sisi masuk dan pengaman lebur (type NH, NT) sebagai pengaman jurusan. Semua Bagian Konduktif Terbuka (BKT) dan Bagian Konduktif Ekstra (BKE) dihubungkan dengan pembumian sisi Tegangan Rendah

3) Gardu beton.

Seluruh komponen utama instalasi yaitu transformator dan peralatan switching/proteksi, terangkai didalam bangunan sipil yang dirancang, dibangun dan difungsikan dengan konstruksi pasangan batu dan beton (*masonrywall building*).

Konstruksi ini dimaksudkan untuk pemenuhan persyaratan terbaik bagi keselamatan ketenagalistrikan.

Gambar 4-4. Gardu beton.

4) Gardu Kios.

Gardu tipe ini adalah bangunan *prefabricated* terbuat dari konstruksi baja, fiberglass atau kombinasinya, yang dapat dirangkai di lokasi rencana pembangunan gardu distribusi. Terdapat beberapa jenis konstruksi, yaitu Kios Kompak, Kios Modular dan Kios Bertingkat.

Gambar 4-5. Gardu kios.

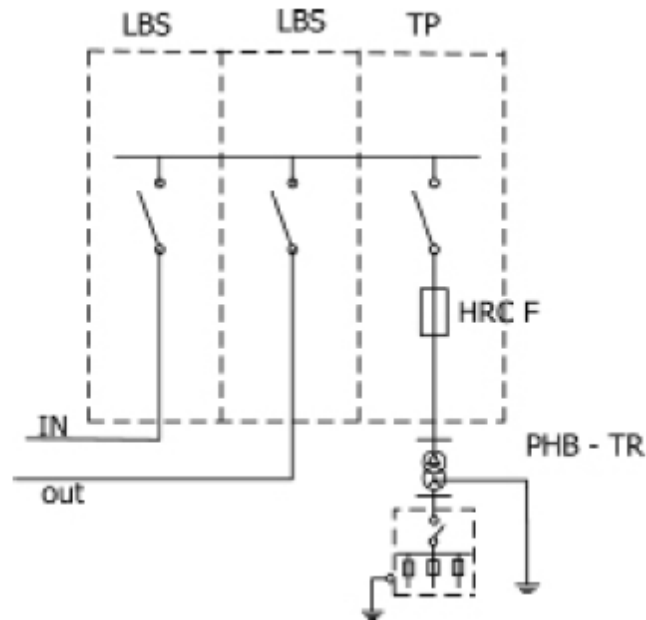
Gardu ini dibangun pada tempat-tempat yang tidak diperbolehkan membangun Gardu Beton.

Karena sifat mobilitasnya, maka kapasitas transformator distribusi yang terpasang terbatas. Kapasitas maksimum adalah 400 kVA, dengan 4 jurusan Tegangan Rendah.

Khusus untuk Kios Kompak, seluruh instalasi komponen utama gardu sudah dirangkai selengkapnya di pabrik, sehingga dapat langsung di angkut kelokasi dan disambungkan pada sistem distribusi yang sudah ada untuk difungsikan sesuai tujuannya.

Gambar 4-6.Gardu kios bertingkat.

5) **Gardu pelanggan umum**

Umumnya konfigurasi peralatan Gardu Pelanggan Umum adalah **π section**, sama halnya seperti dengan Gardu Tiang yang dicatu dari SKTM.

Gambar 4-7. Konfigurasi π section Gardu Pelangan Umum.

Karena keterbatasan lokasi dan pertimbangan keandalan yang dibutuhkan, dapat saja konfigurasi gardu berupa **T section** dengan catu daya disuplai PHB-TM gardu terdekat yang sering disebut dengan **Gardu Antena**.

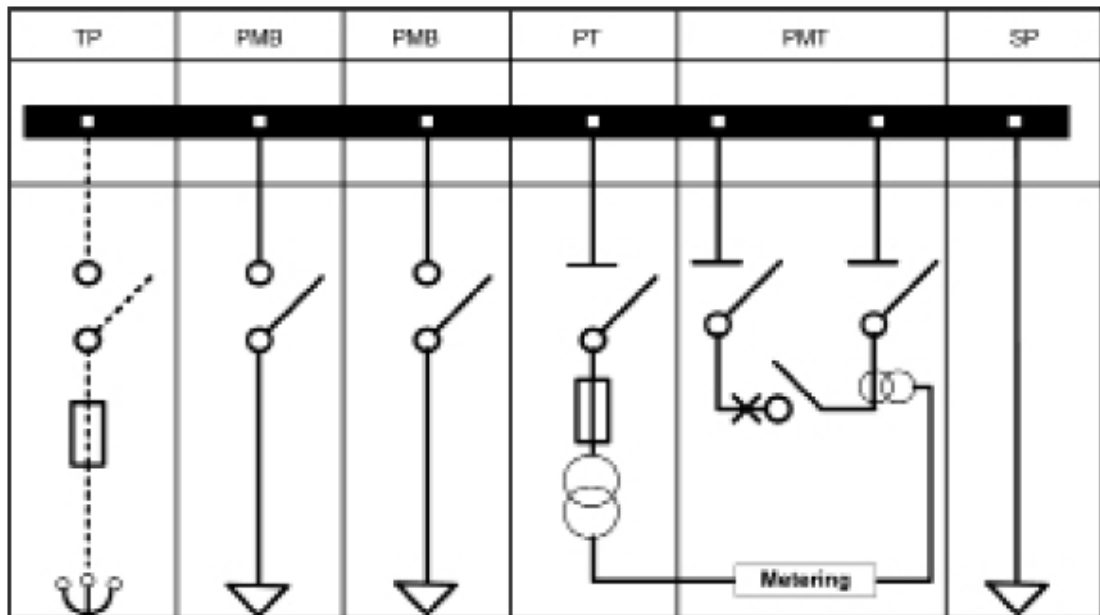
Untuk tingkat keandalan yang dituntut lebih dari Gardu Pelanggan Umum biasa, maka gardu dipasok oleh SKTM lebih dari satu penyulang sehingga jumlah saklar hubung lebih dari satu dan dapat digerakan secara Otomatis (**ACOS** : ***A**utomatic **C**hange **O**ver **S**witch*) atau secara remote control.

6) **Gardu Pelanggan Khusus.**

Gardu ini dirancang dan dibangun untuk sambungan tenaga listrik bagi pelanggan berdaya besar. Selain komponen utama peralatan hubung dan proteksi, gardu ini di lengkapi dengan alat-alat ukur yang dipersyaratkan.

Untuk pelanggan dengan daya lebih dari 197 kVA, komponen utama gardu distribusi adalah peralatan PHB-TM, proteksi dan pengukuran Tegangan

Menengah. Transformator penurun tegangan berada di sisi pelanggan atau diluar area kepemilikan dan tanggung jawab PT PLN (Persero).

Pada umumnya, Gardu Pelanggan Khusus ini dapat juga dilengkapi dengan transformator untuk melayani pelanggan umum.

Gambar 4-8. Bagan satu garis Gardu Pelanggan Umum.

7) **Gardu Hubung.**

Gardu Hubung disingkat GH atau *Switching Subtation* adalah gardu yang berfungsi sebagai sarana manuver pengendali beban listrik jika terjadi gangguan aliran listrik, program pelaksanaan pemeliharaan atau untuk maksud mempertahankan kountinuitas pelayanan.

Isi dari instalasi Gardu Hubung adalah rangkaian saklar beban (*Load Break switch* – LBS), dan atau pemutus tenaga yang terhubung paralel. Gardu Hubung juga dapat dilengkapi sarana pemutus tenaga pembatas beban pelanggan khusus Tegangan Menengah.

Konstruksi Gardu Hubung sama dengan Gardu Distribusi tipe beton. Pada ruang dalam Gardu Hubung dapat dilengkapi dengan ruang untuk Gardu Distribusi yang terpisah dan ruang untuk sarana pelayanan kontrol jarak jauh.

Ruang untuk sarana pelayanan kontrol jarak jauh dapat berada pada ruang yang sama dengan ruang Gardu Hubung, namun terpisah dengan ruang Gardu Distribusinya.

Berdasarkan kebutuhannya Gardu Hubung dibagi menjadi:

Gardu Hubung untuk 7 buah sel kubikel.•

Gardu Hubung untuk (7 + 7) buah sel kubikel.•

Gardu Hubung untuk (7 + 7 +7 + 7) buah sel kubikel. •

Pengunaan kelompok – kelompok sel tersebut bergantung atas sistem yang digunakan pada suatu daerah operasional, misalnya Spindel, Spotload, Fork, Bunga, dan lain – lain. Spesifikasi teknis sel – sel kubikel Gardu Hubung sama dengan spesifikasi teknis Gardu Distribusi, kecuali kemungkinan kemampuan Arus Nominalnya yang bisa berbeda.

C. Komponen Utama Kontruksi Gardu Distribusi.

1) Transformator Distribusi Tiga Phasa.

Untuk transformator fase tiga , merujuk pada SPLN, ada tiga tipe vektor grup yang digunakan oleh PLN, yaitu **Yzn5**, **Dyn5** dan **Ynyn0.** Titik netral langsung dihubungkan dengan tanah. Untuk konstruksi, peralatan transformator distribusi sepenuhnya harus merujuk pada SPLN D3.002-1: 2007.

Gambar 4-9. Transformator Distribusi Tiga Phasa.

Transformator gardu pasangan luar dilengkapi bushing Tegangan Menengah isolator keramik. Sedangkan Transformator gardu pasangan dalam dilengkapi bushing Tegangan Menengah isolator keramik atau menggunakan isolator *plug-in premoulded*.

Tabel 4-1 : Vektor group transformator tiga phasa.

No.	Vektor Group	Daya (kVA)	Keterangan
1	Yzn5	50 100 160	Untuk sistem 3 kawat
2	Dyn5	200 250 315 400 500 630	Untuk sistem 3 kawat
3	Ynyn0	50 100 160 200 250 315 400 500 630	Untuk sistem 4 kawat

2) **PHB sisi Tegangan Menengah (PHB-TM)**

Berikut ini adalah Komponen Utama PHB-TM yang sudah terpasang/terangkai secara lengkap yang lazim disebut dengan Kubikel-TM**,** yaitu **:**

a) **Pemisah – *Disconnecting Switch* (DS)**

Berfungsi sebagai pemisah atau penghubung instalasi listrik 20 kV. Pemisah hanya dapat dioperasikan dalam keadaan tidak berbeban.

b) **Pemutus beban – *Load Break Switch* (LBS)**

Berfungsi sebagai pemutus atau penghubung instalasi listrik 20 kV. Pemutus beban dapat dioperasikan dalam keadaan berbeban dan terpasang pada kabel masuk atau keluar gardu distribusi.

Kubikel LBS dilengkapi dengan sakelar pembumian yang bekerja secara interlock dengan LBS. Untuk pengoperasian jarak jauh (*remote control), Remote Terminal Unit* (RTU) harus dilengkapi catu daya penggerak.

c) **Pemutus Tenaga - *Circuit Breaker* (CB)**

Berfungsi sebagai pemutus dan penghubung arus listrik dengan cepat dalam keadaan normal maupun gangguan hubung singkat. Peralatan Pemutus Tenaga (PMT) ini sudah dilengkapi degan rele proteksi arus lebih (*Over Current Relay*) dan dapat difungsikan sebagai alat pembatas beban. Komponen utama PHB-TM tersebut diatas sudah terakit dalam kompartemen kompak (lengkap), yang sering disebut Kubikel Pembatas Beban Pelanggan.

d) **LBS - TP (*Transformer Protection*)**

Transformator distribusi dengan daya ≤ 630 kVA pada sisi primer dilindungi pembatas arus dengan pengaman lebur jenis HRC (*High Rupturing Capacity*).

Peralatan kubikel proteksi transformator, dilengkapi dengan LBS yang dipasang sebelum pengaman lebur. Untuk gardu kompak, komponen proteksi dan LBS dapat saja sudah terangkai sebagai satu kesatuan, dan disebut ***Ring Main Unit*** (**RMU**).

3) **PHB sisi Tegangan Rendah (PHB-TR)**

PHB-TR adalah suatu kombinasi dari satu atau lebih Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah dengan peralatan kontrol, peralatan ukur, pengaman dan kendali yang saling berhubungan. Keseluruhannya dirakit lengkap dengan sistem pengawatan dan mekanis pada bagian-bagian penyangganya.

Secara umum PHB TR sesuai SPLN 118-3-1–1996,untuk pasangan dalam adalah jenis terbuka. Rak TR pasangan dalam untuk gardu distribusi beton. PHB jenis terbuka adalah suatu rakitan PHB yang terdiri dari susunan penyangga peralatan proteksi dan peralatan Hubung Bagi dengan seluruh bagian-bagian yang bertegangan, terpasang tanpa isolasi. Jumlah jurusan per transformator atau gardu distribusi sebanyak-banyaknya 8 jurusan, disesuaikan dengan besar daya transformator dan Kemampuan Hantar Arus (KHA) Penghantar JTR yang digunakan. Pada PHB-TR harus dicantumkan diagram satu garis, arus pengenal gawai proteksi dan kendali serta nama jurusan JTR.

Sebagai peralatan sakelar utama saluran masuk PHB-TR, dipasangkan Pemutus Beban (LBS) atau NFB (*No Fused Breaker*).

Pengaman arus lebih (*Over Current*) jurusan disisi Tegangan Rendah pada PHB-TR dibedakan atas :

a) *No Fused Breaker* (NFB)

No Fused Breaker adalah breaker/pemutus dengan sensor arus, apabila ada arus yang melewati peralatan tersebut melebihi kapasitas breaker, maka sistem magnetik dan bimetalic pada peralatan tersebut akan bekerja dan memerintahkan breaker melepas beban.

b) *No Fused Breaker* (NFB)

Pengaman lebur adalah suatu alat pemutus yang dengan meleburnya bagian dari komponennya yang telah dirancang dan disesuaikan ukurannya untuk membuka rangkaian dimana sekering tersebut dipasang dan memutuskan arus bila arus tersebut melebihi suatu nilai tertentu dalam jangka waktu yang cukup (SPLN 64:1985:1).

Fungsi pengaman lebur dalam suatu rangkaian listrik adalah untuk setiap saat menjaga atau mengamankan rangkaian berikut peralatan atau perlengkapan yang tersambung dari kerusakan, dalam batas nilai pengenalnya (SPLN 64:1985:24).

Berdasarkan konstruksinya Pengaman Lebur untuk Tegangan Rendah dapat digolongkan menjadi :

- **Pelebur Tabung Semi Terbuka**

  Pelebur ini mempunyai harga nominal sampai 1000 Ampere. Penggunaannya sebagai pengaman pada saluran induk Jaringan Tegangan Rendah, saluran induk Instalasi Penerangan maupun Instalasi Tenaga. Apabila elemen lebur dari pelebur ini putus dapat dengan mudah diganti.

- **Pelebur Tabung Tertutup (tipe NH atau NT)**

  Jenis pengaman lebur ini paling banyak digunakan. Pemilihan besar rating pengaman pelebur sesuai dengan kapasitas transformator dan dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4-2 : Spesifikasi Teknis PHB-TR

No.	Uraian	Spesifikasi
1.	Arus pengenal saklar pemisah	Sekurang-kurangnya 115 % I_N transformator distribusi.
2.	KHA rel PHB	Sekurang-kurangnya 125 % arus pengenal saklar pemisah
3.	Arus pengenal pengaman lebur	Tidak melebihi KHA penghantar sirkit keluar
4.	Short breaking current (Rms)	Fungsi dari kapasitas Transformator dan tegangan impendasinya
5.	Short making current (peak)	Tidak melebihi 2,5 x *short breaking current*
6.	Impulse voltage	20 kV
7.	Indeks proteksi – IP (International Protection) untuk PHB pasangan luar	Disesuaikan dengan kebutuhan, namun sekurang-kurangnya IP-45

I_N = I nominal sisi sekunder transformator

4) **Peralatan Pengukur**

a) **Transformator Tegangan - *Potential Transformator* (PT)**

Fungsinya adalah mentransformasikan besaran Tegangan Tinggi ke besaran Tegangan Rendah guna pengukuran atau proteksi dan sebagai isolasi antara sisi tegangan yang diukur atau diproteksikan dengan alat ukurnya atau proteksinya. Faktor yang harus diperhatikan dalam pemilihan transformator tegangan adalah batas kesalahan transformasi dan pergeseran sesuai tabel dibawah ini :

Tabel 4-3 : Batas Kesalahan Transformasi Trafo Tegangan

Kelas	% Kesalahan Ratio Tegangan	Pergeseran Sudut
0,5	0,5	20
1,0	1,0	40

Burden, yaitu beban sekunder dari transformator tegangan (PT), dalam hal ini sangat terkait dengan kelas ketelitian PT. Untuk instalasi pasangan dalam; lazimnya transformator tegangan sudah terpasang pada kubikel pengukuran.

b) **Transformator Arus - *Current Transformator* (CT)**

Transformator arus (*Current Transformer- CT*) adalah salah satu peralatan di Gardu Distribusi, fungsinya untuk mengkonversi besaran arus besar ke arus kecil guna pengukuran sesuai batasan alat ukur, juga sebagai proteksi serta isolasi sirkit sekunder dari sisi primernya.

Faktor yang harus diperhatikan pada instalasi transformator arus adalah Beban (*Burden*) Pengenal dan Kelas ketelilitian CT. Disarankan menggunakan jenis CT yang mempunyai tingkat ketelitian yang sama untuk beban 20% - 120% arus nominal. Nilai burden, kelas ketelitian untuk proteksi dan pengukuran harus merujuk pada ketentuan/persyaratan yang berlaku. Konstruksi transformator arus dapat terdiri lebih dari 1 kumparan primer *(double primer)*.

Gambar 4-10. Trafo arus.

Untuk konstruksinya sama halnya dengan transformator tegangan, transformator arus pasangan luar memiliki konstruksi lebih besar/kokoh dibandingkan konstruksi pasangan dalam yang umumnya built in (atau akan dipasangkan) dalam kubikel pengukuran.

5) Peralatan Switching dan Pengaman sisi Tegangan Menengah

a) *Fused Cut Out* (FCO)

Pengaman lebur untuk gardu distribusi pasangan luar dipasang pada *Fused Cut Out* (FCO) dalam bentuk *Fuse Link*. Terdapat 3 jenis karakteristik *Fuse Link*, tipe-K (cepat), tipe–T (lambat) dan tipe–H yang tahan terhadap arus surja.

Data aplikasi pengaman lebur dan kapasitas transformatornya dapat dilihat pada tabel. Apabila tidak terdapat petunjuk yang lengkap, nilai arus pengenal pengaman lebur sisi primer tidak melebihi 2,5 kali arus nominal primer tranformator.

Jika sadapan *Lighning Arrester* (LA) sesudah *Fused Cut Out*, dipilih *Fuse Link* tipe–H. jika sebelum *Fused Cut Out* (FCO) dipilih Fuse Link tipe–K.

Gambar 4-11. Fused Cut Out (FCO).

Sesuai Publikasi IEC 282-2 (1970) atau (NEMA) di sisi primer berupa pelebur jenis pembatas arus. Arus pengenal pelebur jenis letupan (*expulsion*) tipe-H (tahan surja kilat) tipe-T (lambat) dan tipe-K (cepat) menurut publikasi IEC No. 282-2 (1974) – NEMA untuk pengaman berbagai daya pengenal transformator, dengan atau tanpa koordinasi dengan pengamanan sisi sekunder.

b) *Lightning Arester* (LA)

Untuk melindungi transformator distribusi, khususnya pada pasangan luar dari tegangan lebih akibat surja petir. Dengan pertimbangan masalah gangguan pada SUTM, Pemasangan *Lightning Arester* dapat saja dipasang sebelum atau sesudah *Fuse Cut Off (FCO).*

Gambar 4-12. *Lighting Arester (LA).*

Untuk tingkat IKL diatas 110, sebaiknya tipe 15 KA. Sedang untuk perlindungan Transformator yang dipasang pada tengah-tengah jaringan memakai LA 5 KA, dan di ujung jaringan dipasang LA – 10 KA.

6) Konektor

Konektor adalah komponen yang dipergunakan untuk menyadap atau mencabangkan kawat penghantar SUTM ke gardu.

Gambar 4-13. *Live Line Connectror*.

Jenis konektor yang digunakan untuk instalasi gardu ini ditetapkan menggunakan *Live Line Connector* (sambungan yang bisa dibuka- pasang) untuk memudahkan membuka atau memasang pada keadaan bertegangan.

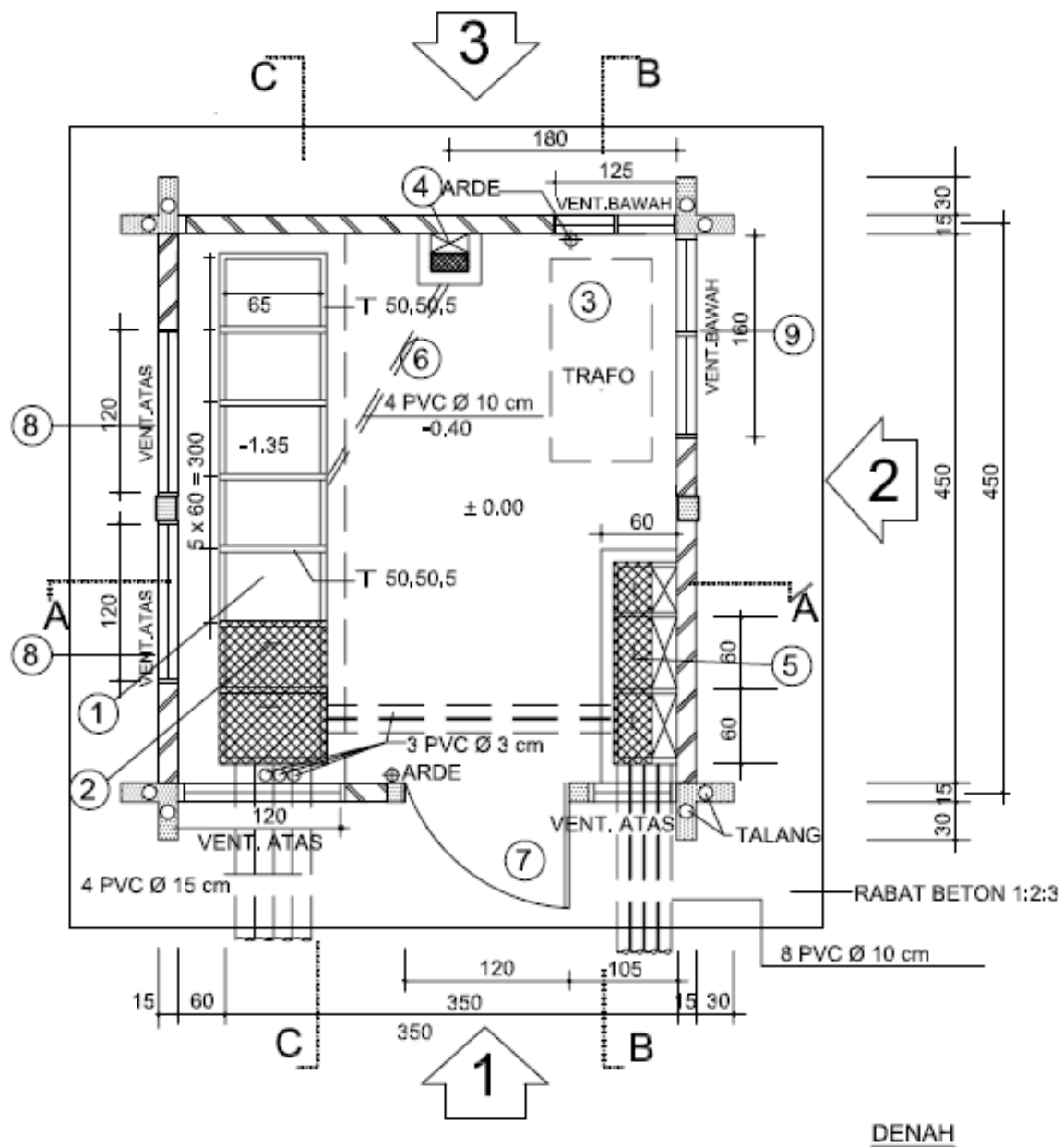
Penyadapan trafo dari SUTM dan pencabangan harus di depan tiang peletakan trafo dari arah Pembangkit Listrik atau Gardu Induk.

BAB V

GARDU BETON

A. Standar Tata Letak (*lay out*).

Karena seluruh peralatan berada dalam ruang tertutup, bangunan gardu secara keseluruhan tidak dipersyaratkan ruang bebas hambatan atau *Right of Way (ROW)* dari tegangan sentuh. Untuk kondisi di wilayah/perkotaan yang seringkali tidak dapat dikendalikan peruntukan atau kepemilikan tanah gardu, maka diperlukan ruang bebas hambatan untuk tujuan perolehan udara yang dipersyaratkan bagi temperatur lingkungan (*ambient temperature*).

Menurut standar, pengaturan tata-letak peralatan pada gardu beton pelanggan umum atau pelanggan khusus adalah : PHB-TR ditempatkan pada sisi masuk sebelah kiri atau sebelah kanan, Jarak antara PHB-TM dengan dinding sebelah kiri kanan tidak kurang dari 1 meter, Jarak bagian belakang PHB atau badan trasformator dengan dinding gardu minimal 60 cm. Cukup tersedia ruang untuk petugas berdiri dari depan PHB-TR minimal dari 75 cm, Ruang gardu harus dilengkapi *man-hole*, Tersedia tempat untuk cadangan tambahan kubikel PHB-TM sekurang-kurangnya 1(satu) buah. Berikut ini diberikan gambaran umum tentang tata letak gardu distribusi.

NO	URAIAN
1	Dudukan kubikel TM
2	Manhole
3	Dudukan Transformator
4	Kabel Trunk TM
5	Dudukan PHB-TR

NO	URAIAN
6	Jalur kabel TM arah Transformator
7	Pintu Gardu
8	Ventilasi Atas
9	Ventilasi Bawah
10	lampu Indikantor gangguan

Gambar 5-1. Lay-out Perlengkapan Gardu Didstribusi Beton.

Berdasarkan hal-hal tersebut diatas, maka ukuran dan tataletak serta dimensi Gardu Beton disamping mengikuti ketersediaan lahan yang ada, juga harus memenuhi ketentuan-ketentuan sebagai berikut :

- Tinggi bangunan minimum 3 meter.
- PHB-TR ditempatkan pada sisi masuk sebelah kanan.
- Jarak kiri kanan PHB-TM terhadap tembok minimum 1 meter.
- Jarak belakang PHB-TM terhadap dinding minimal 60 cm (0,6 meter).
- Jarak Badan Transformator terhadap dinding minimal 60 cm (0,6 meter.
- Jarak Ruang Tempat Petugas dengan bagian depan PHB minimal 0,75 meter.
- Jarak batas antara PHB-TM dengan PHB TR minimal 1 mater.
- Jarak batas antara PHB-TM dengan transformator minimal 1 meter.8.
- Jarak terluar peralatan dengan BKT minimal 20 cm (0,2 meter). Jarak bagian konduktif 9. dan BKT minimal 60 cm (0,6 meter).
- Lubang kabel naik ke PHB minimal sedalam 1,2 meter dan harus diberikan lobang 10. kerja (manhole) minimal ukuran 0,8 x 0,6 meter.
- Ketentuan tersebut dengan sendirinya tidak berlaku bagi gardu kios atau gardu kompak.

1) Ketentuan Ventilasi

Lubang ventilasi diberikan cukup pada dinding dikiri kanan PHB TR atau TM dengan luas ventilasi (jumlah) adalah 1/5 dari luas muka dinding. Karena luasnya, maka perlu diperhatikan konstruksi ventilasi harus bersirip miring tiap 10 cm (mencegah masuknya percikan hujan). Pada keadaan khusus (untuk pencegahan masuknya binatang) dapat saja dilengkapi kasa kawat baja.

Pada gardu konsumen khusus yang dibangun sebagai bagian konstruksi bangunan konsumen tersebut, harus diperhatikan ruang bebas dan aliran angin yang diperlukan. Untuk kondisi tertentu dapat digunakan *exhaust-fan* atau baling-baling ventilasi yang diletakkan di atap gardu.

2) Ketentuan Ketinggian Muka Lantai

Ketinggian Muka lantai gardu ditentukan minimal 30 cm dari muka air tertinggi yang mungkin terjadi. **Penempatan gardu pada basement bangunan sebaiknya dihindari.**

B. Konstruksi Instalasi Gardu Beton.

Instalasi Hubung 20 kV.

Instalasi hubung yang terpasang harus sesuai dengan rangkaian yang diperlukan. Bentuk-bentuk rangkaian yang dijumpai :

Pada perlengkapan hubung tegangan menengah 20 kV gardu distribusi pasangan dalam umum terdiri atas beberapa jenis kubikel :

- Kubikel Pemutus Beban – 1. *Load Break Switch* (LBS)
- Kubikel Pemisah – *Disconnecting Switch* (DS). Jenis ini direkomendasikan tidak dipergunakan lagi.
- Kubikel Pengaman Transformator – *Tranformator Protection* (TP) dengan saklar *Load Break Switch* (LBS) dan Proteksi Arus Lebih jenis pengaman lebur.
- Kubikel sambungan pelanggan.

Pilihan penggunaan LBS, TP tergantung pada kebutuhan kelengkapan gardu distribusi tersebut. Sebagai peralatan proteksi dan switching gardu distribusi yang dicatu dari loop sistem Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM), lazimnya harus dilengkapi dengan PHB-TM dengan susunan rangkaian sebagai berikut :

- LBS – LBS – TP1
- LBS – TP
- LBS – LBS – PMT – SP
- TP – LBS – LBS – PMT – SP

Pada **Gardu Pelanggan Umum**, peralatan switching SKTM **sistem phi (π)** dilengkapi 2 LBS. Sedang pada **sistem Antena**, cukup dengan 1 LBS saja. Jumlah pengaman transformator (TP) harus disesuaikan dengan jumlah transformator yang akan dipasangkan dalam gardu tersebut.

1) Konstruksi Penunjang (konstruksi mekanis)

Beberapa peralatan konstruksi penunjang diperlukan dengan jumlah di sesuaikan dengan kebutuhan setempat, yaitu berupa.

- *Cable tray* harus terbuat dari bahan anti korosif galvanis untuk keperluan tiap-tiap 3 meter jalur kabel.
- Klem kabel untuk memperkuat dudukan kabel pada ikatan statis atau kabel tray • terbuat dari kayu (*Support cable*).
- *U- bolt clamp*
- *Spice plate* (*plate bar*)
- Collar(penjepit kabel) pada Rak TR atau TM yang terbuat dari kayu.
- Dyna Bolt ukuran 10 mm^2 panjang 60 mm, 120 mm
- Insulating bolt, baut dilapisi nilon, makrolon.
- Insulating slim, bahan bakelit, nilon, makrolon.
- Terminal hubung, plat dibawah sel TM.
- Clampping connector φ 9 mm, 13 mm, 17 mm.
- T- Connector (kuku macan) , *unimog-clamp* terbuat dari tembaga.
- Angle clamp connector (*knee-connector*)
- Connecting blok terbuat dari tembaga.
- Straight clamp conrctor.

2) Gardu Beton Pelanggan Khusus

Instalasi untuk pelanggan tegangan menengah, selain peralatan switching SKTM, umumnya peralatan gardu dilengkapi :

a) Satu sel kubikel transformator tegangan.

b) Satu sel kubikel sambungan pelanggan dengan fasilitas :

- *Circuit Breaker* (CB) yang bekerja sebagai pembatas arus nominal daya tersambung pelanggan.
- Transformator Arus (CT).

c) Satu sel kubikel untuk sambungan kabel milik pelanggan.

d) Satu set relai pembatas beban.

e) Satu set alat ukur (KWH meter, KVARH meter).

Butir 1 sampai dengan 4 diatas dapat berada dalam satu kubikel. Spesifikasi teknis dan ketentuan instalasinya sama dengan ketentuan instalasi sel kubikel lainnya.

Dalam hal transformator distribusi konsumen khusus tersebut dipasangkan dalam gardu, rangkaian kubikel harus dilengkapi dengan kubikel proteksi transformator baik berupa pengaman lebur atau *Circuit Breaker* (sambungan Tegangan Rendah, pengukuran pada sisi Tegangan Menengah)

C. Pemasangan Instalasi.

1) Pemasangan kubikel diatas saluran kabel gardu

Setelah komposisi kubikel sesuai, masing-masing kubikel dipasang satu dengan lainnya dengan mur-baut yang telah terpasang dengan erat, momen Torsi 25 NM atau sesuai spesifikasi pabrik bersangkutan. Untuk ini hindarkan penggabungan kubikel lain merk. Ikatkan erat kubikel dengan menggunakan mur-baut, pada besi siku LNP.8 melintang diatas saluran kabel yang telah tersedia. Dalam hal lubang pada kubikel dan besi siku tidak sesuai, harus lubang baru yang tepat pada besi siku. Besi siku harus dibaut pada lantai dengan *Dyna Bolt.*

2) Pemasangan Penghantar Pembumian

Seluruh badan kubikel harus dibumikan dengan konduktor tembaga berpenampang minimal 16 mm2. Nilai tahanan pembumian tidak boleh melebihi 1 Ohm. Bila gardu terpadu (*integrated*) dengan bangunan, elektroda bumi gedung agar dipisah dengan pembumian gardu.

3) Instalasi Listrik.

Seluruh rangkaian semua peralatan listrik kubikel harus dipasang/dirangkai dengan baik dan benar sesuai petunjuk yang diberikan pabrikan kubikel dengan torsi yang dipersyaratkan. Sebagai contoh umumnya rangkaian busbar, transformator pengukuran dan kabel kontrol peralatan *switchgear* yang disuplai terlepas atau belum terakit (jadi perlu dirangkai).

4) Heater dan Instalasi Penerangan Gardu.

Catu daya listrik untuk *heater* kubikel dan catu *fault indicator* yang diperlukan harus diperoleh dan terpasang. Bila perlu catu daya tersebut didapatkan dari Jaringan Tegangan Rendah diluar lokasi. Bila semua telah terpasang pastikan ulang bahwa *heater* dan *fault indicator* tersebut telah berfungsi dengan baik.

5) Heater dan Instalasi Penerangan Gardu.

Ground Fault Detector (GFD) dipasang di atas pintu Gardu Distribusi guna mempercepat pencarian dan pengisolasian bagian saluran kabel yang mengalami gangguan, sehingga lama padam bagian yang tidak mengalami gangguan dapat dipersingkat.

6) Penggabungan Instalasi SKTM dengan Kubikel.

- **Tahanan Isolasi dan Urutan Fase**

  Sebelum kabel tegangan menengah dipasang pada kubikel, harus diperhatikan urutan fase kabel tersebut dengan terminal kubikel. Periksa pula tahanan isolasi kabel tersebut minimal dengan menggunakan pengukur tahanan isolasi (*megger*) 5 kV.

- **Instalasi Terminal Kabel.**

  Terminasi kabel pada kubilkel memakai 2 tehnik konstruksi :

  a. Konstruksi *Precasting Full Insulated Heatshrink* atau *Coldshrink*.

  b. Konstruksi *plug-In* baik *Straight through terminating* atau *elbow terminating.*

  Pelaksanaan pekerjaan terminasi hanya boleh dilakukan oleh teknisi bersertifikat kompetensi teknik terminasi kabel.

  Secara keseluruhan instalasi terminal harus meme-nuhi urutan kerja instalasi sesuai yang dipersyaratkan oleh pabrikan terminal kabel tersebut.

  Khusus pemasangan dan penggabungan sepatu kabel pada bushing-terminal kubikel harap diperhatikan :

  a. Metode pengepresen sepatu kabel.

  b. Pengikatan baut sepatu kabel pada bushing gunakan torsi meter dengan perolehan 2) nilai 15 -25 Nm.

  c. Umumnya konduktor pada bushing/terminal kubikel adalah dengan bahan tembaga; sebaliknya konduktor pada kabel tegangan menengah adalah dengan bahan Aluminium. Untuk keadaan ini gunakan jenis sepatu kabel-bimettalic connector atau setidak-tidaknya dengan tambahan *ring bimettalic connector.*

7) Instalasi Transformator Distribusi

Spesifikasi transformator distribusi :

Transformator pasangan dalam (indoor) 20 kV / 230 / 400 V dengan daya :

- 25 0 kVA
- 400 kVA
- 630 kVA

a. Penempatan transformator dalam gardu harus sesuai rencana tata ruang disain sipil gardu bersangkutan; dengan sisi tegangan rendah menghadap/pada dinding gardu.
b. Pada saat penempatan transformator dalam gardu; harus menggunakan alas besi kanal U, atau plat bordes 5 mm, untuk menjamin tidak rusaknya lantai kerja gardu.
c. Seluruh rangkaian listrik harus terhubung dengan terminal transformator melalui sepatu kabel yang memenuhi syarat. Bilamana konduktor kabel yang dipergunakan berbeda dengan terminal transformator, harus menggunakan sepatu kabel bimetal.
d. Sama halnya dengan persyaratan instalasi *switchgear*, badan transformator harus terhubung dengan elektroda pembumian. Elektroda pembumian badan transformator ini harus berbeda dengan elektroda pembuminan netral sisi Tegangan Rendah transformator.

8) Instalasi rak PHB-TR

Instalasi rak PHB TR terdiri sebanyak-banyaknya 8 jurusan dengan kapasitas transformator maksimum 630 kVA.

9) Instalasi Kabel Tenaga dan Kabel Kontrol

Kabel TM antara kubikel PT dan Transformator Tenaga menggunakan kabel inti tunggal jenis N2XSY, sekurang-kurangnya harus dengan luas penampang 25 mm2.

Sementara kabel TR antara transformator dan PHB TR memakai kabel inti tunggal jenis NYY, dimana digunakan 2 kabel paralel untuk penghantar Fase dan 1 kabel untuk penghantar netral dan sekurang-kurangnya memakai kabel ukuran 240 mm2.

10) Instalasi Terminal Kabel 20 kV pada RMU

Pelaksanaan terminasi kabel dengan jenis terminal kabel yang lazim digunakan adalah *plug-in premoulded* yang harus sesuai dengan jenis RMU baik jenis *straight through* atau jenis *elbow connector*. Apabila terdapat

sambungan berbeda material, misalnya kawat tembaga dan kawat konduktor alumunium harus menggunakan konektor jenis bimetal.

11) Instalasi Elektroda Pembumian

Bagian-bagian yang harus dibumikan pada gardu beton adalah :

a) Titik netral sisi sekunder transformator.
b) Bagian konduktif terbuka (BKT) instalasi gardu.
c) Bagian konduktif ekstra (BKE).

Elektroda pembumian pada Gardu Beton memakai sistem mesh, dengan penghantar tembaga berpenampang 50 mm2 yang digelar di bawah pondasi bangunan gardu.

Pada titik tertentu elektroda pembumian ini dikeluarkan dan dihubungkan pada instalasi ikatan ekuipotensial (*equipotential coupling*) yang dipasang setinggi 20 cm di atas lantai, mengelilingi bagian dalam dinding gardu. Material ikatan ekuipotensial memakai pelat tembaga sekurang-kurangnya dengan penampang berukuran 20x4 mm.

Seluruh bagian konduktif terbuka (BKT) dan bagian konduktif ekstra (BKE) gardu dihubungkan ke ikatan ekui potensial tersebut.

Nilai tahanan pembumian tidak melebihi 1 ohm. Apabila konstruksi pembumian tersebut tidak mencapai 1 ohm, harus ditambahkan sistem elektroda pembumian lainnya, antara lain dengan elektroda batang, sehingga tercapai nilai tahanan pembumiaan sebesar 1 ohm.

Khusus titik netral transformator distribusi dibumikan terpisah (tersendiri) dengan pembumian BKT dan BKE. Penghantar pembumian menggunakan BC 50 mm2, elektroda bumi memakai elektroda jenis batang.

Tabel 5-1 : Instalasi Pembumian pada Gardu Distribusi Beton.

No.	Uraian	Ukuran minimal penghantar pembumian
1.	Panel PHB TM (kubikel)	BC solid 16 mm*2*
2.	Rak kabel TM-TR	BC 50 mm*2*
3.	Pintu gardu/pintu besi/pagar besi	BC pita 50 mm*2* (NYAF)
4.	Rak PHB TR	BC 50 mm*2*
5.	Badan transformator	BC 50 mm*2*
6.	Titik netral sekunder transformator	BC 50 mm*2*
7.	Ikatan ekipotential pada gardu kontruksi dalam	Pelat tembaga 2 mm x 20 mm
8.	Semua BKT dan BKE gardu	BC solid 16 mm2
9.	Elektroda pembumian gardu beton	BC 50 mm^2 di bawah pondasi

D. Penyelenggaraan Konstruksi Gardu Beton.

1) Persiapan Kontruksi Gardu Beton.

Perancangan konstruksi Gardu Beton lazimnya harus sudah menjadi satu kesatuan dengan perencanaan jaringan TM.

Seluruh komponen utama dan kelengkapan instalasi gardu harus dipersiapkan dengan baik dan benar di lokasi.

Khusus transformator, periksa fisik transformator distribusi yang meliputi :

a) Packing transformator.

b) Periksa assesoris transformator, apakah sudah sesuai dengan syarat kontrak yang 2 disepakati, misalnya Termometer, *Oil Level*, *Buchholz Relay, Breather (silica gel).*

c) Periksa volume minyak pada gelas duga (*oil level*) dan kebocoran pada 3 transformator.

d) Periksa Name Plate serta Sertifikat Transformator, apakah telah sesuai dengan 4 permintaan, pemeriksaan antara lain :

- Daya/ Kapasitas : kVA.
- Tegangan Sisi Teg. Tinggi : Volt.
- Tegangan Sisi Teg. Rendah : Volt.
- Vektor Group :
- Tingkat Pengaturan Tegangan :

e) Pengujian Ketahanan Isolasi antara :

- sisi Tegangan Rendah (TR) dengan sisi Tegangan Menengah (TM)
- sisi Tegangan Rendah (TR) dengan bodi (E)
- sisi Tegangan Menengah (TM) dengan bodi (E).

2) Handling Transportasi

Kondisi kritis adalah saat memindahkan transformator, dari gudang ke lokasi pemasangan misalnya, juga saat penaikan/penurunan transformator dari atau ke atas truk. Untuk menaikan dan menurunkan transformator distribusi dari truk di haruskan menggunakan alat bantu *forklift, mobile crane* atau *lifter* (truk yang sudah dilengkapi pengangkat) atau minimal *tripod.*

Menaikan dan menurunkan ke atau dari truk harus diperhatikan dengan seksama untuk memastikan tidak terjadinya kerusakan pada tangki transformator (bila menggunakan forklift) atau kerusakan isolator (umumnya bila menggunakan *crane* atau *tripod*). Pengangkutan transformator dari gudang penyimpanan ke lokasi gardu dipersyaratkan atau tidak diperbolehkan adanya guncangan-guncangan pada saat dibawa dengan kendaraan.

Tabel 5-2 : Besarnya torsi pengencangan Mur-Baud.

Diameter Ulir (mm)	Torsi (Nm)
2.5	0.37
3	0.65
4	1.53
5	3
6	5.2
7	12
10	24
12	42
14	66
16	98
20	190
24	330
30	650

3) Penandaan dan Prasasti Gardu

Setiap gardu harus diberi identitas yang meliputi :

- Nomor Gardu.
- Tanda peringatan (antara lain lambang kilat, tulisan tanda bahaya, dan lain-lain).
- Data Historis Gardu yang berisi tanggal dibangun, No.SPK, dan nama pelaksana pekerjaan dalam bentuk prasasti (terbuat dari batu marmer).

Dinding bagian dalam gardu diberi warna dengan cat berwarna putih, dan dinding bagian luar gardu diberi warna dengan cat berwarna abu–abu (*silver-stone*). Jenis cat yang digunakan untuk bagian luar harus tahan perubahan cuaca.

4) Penyelesaian Akhir (*finishing*).

Setelah tahapan konstruksi pemasangan gardu selesai, maka dilanjutkan dengan uji teknis dan komisioning sesuai dengan ketentuan yang berlaku, untuk kemudian diterbitkan Sertifikat Laik Operasi (SLO) oleh Badan yang berwenang.

BAB VI

GARDU TIANG

A. Ruang Bebas Hambatan (*Right of Way*) dan Jarak Aman (*Safety Distance*).

Ruang bebas hambatan atau *right of way* pada Gardu Tiang adalah daerah bebas dimana gardu tersebut berlokasi. Pada ruang bebas tersebut tidak ada penghalang yang menyebabkan komponen gardu beserta kelengkapannya bersentuhan dengan pohon atau bangunan. Tersedia akses jalan masuk-keluar gardu untuk keperluan kegiatan operasi dan pemeliharaan/perbaikan gardu.

Jarak aman bagian Gardu Tiang di sisi 20 kV sesuai dengan ketentuan Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) adalah 2,5 meter dari sisi terluar konstruksi gardu.

B. Spesifikasi Peralatan Gardu Tiang

1) Tiang.

Tiang yang dipergunakan untuk Gardu Distribusi jenis ini dapat berupa tiang besi ataupun tiang beton berkekuatan beban kerja sekurang-kurangnya 500 daN, dengan panjang 11 atau 12 meter.

2) Peralatan Hubung dan Proteksi

Karakteristik listrik komponen utama instalasi gardu tiang yang harus dipenuhi pada sisi Tegangan Menengah (TM), adalah :

- Tegangan pengenal : 24 kV.
- Frekuensi pengenal : 50 Hz.
- Ketahanan isolasi terhadap tegangan impuls standar (puncak) : 125 kV.
- Pengujian impulse DC, selama 1 menit : 50 kV.
- Ketahanan tegangan jarak isolasi (*isolating distance*) di udara :
  a) Tegangan impuls, puncak : 145 kV.
  b) Inpulse DC voltage selama 1 menit : 50 kV.
  c) Ketahanan terhadap arus hubung singkat (1 detik) : 12.5kV.
  d) Ams maksimum gangguan ke bumi selama 1 detik : 1 kA.
  e) Tegangan uji terhadap sirkuit bantu : 2 kV.
  f) Tegangan surja hubung dan Pemutus Tenaga hampa udara harus cocok untuk transformator terendam minyak (tanpa penangkal petir) dengan tingkat isolasi dasar (BIL) : 125 kV

Karakteristik listrik komponen utama instalasi gardu tiang yang harus dipenuhi pada sisi Tegangan Rendah (TR), adalah :

a) Tegangan pengenal : 230/400 V.

b) Frekuensi pengenal : 50 Hz.

c) Tingkat isolasi dasar (puncak) : 6 kV.

d) Arus ketahanan waktu singkat selama 1 detik,

   - PHB 250/500/630 A : 0.5 kA.
   - PHB 800 A : 0.5 kA.
   - PHB 1200 A : 0.5 kA•

e) KHA busbar : 250/400/630/800/1200 A.

f) Kapasitas pengaman lebur HRC : 25 kA/400 V.

g) Tegangan ketahanan frekuensi daya selama 1 menit : 2,5 kV

C. Jenis Konstruksi Gardu Tiang.

1) Gardu Portal

Gardu Portal adalah gardu listrik jenis terbuka (*out-door*) dengan memakai konstruksi dua tiang atau lebih. Tempat kedudukan transformator sekurang – kurangnya 3 meter di atas tanah dan ditambahkan platform sebagai fasilitas kemudahan kerja teknisi operasi dan pemeliharaan. Transformator dipasang pada bagian atas dan lemari panel atau PHB-TR pada bagian bawah.

a) **Gardu Portal 50 kVA – 100 kVA, 2 jurusan TR**

   PHB-TR gardu ini dirancang untuk 2 Jurusan Jaringan Tegangan Rendah.

b) **Gardu Portal 160 – 400 kVA, 4 Jurusan TR**

   PHB-TR gardu ini dirancang untuk 4 Jurusan Jaringan Tegangan Rendah.

c) **Gardu Portal Pelanggan Khusus**

   Gardu Portal untuk pelanggan khusus Tegangan Rendah dan Tegangan Menengah.

Gambar 6-1. Gardu Portal.

d) **Gardu Portal Saluran Kabel Tegangan Menangah (SKTM)**

   - **Gardu Portal SKTM Antenna**

Gardu Portal ini lazimnya dibangun pada sistem distribusi Tegangan Menengah (TM) dengan kabel bawah tanah yang karena keterbatasan lahan, catu daya TM diperoleh dari Gardu Beton terdekat dengan Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) bawah tanah dengan panjang tidak melebihi 100 meter. Untuk gardu portal antenna, kubikel pengaman transformator ditempatkan pada gardu pemberi catu daya.

- **Gardu Portal *Ring Main Unit* (*RMU*)/Modular**

  Gardu Portal ini adalah gardu listrik dengan konstruksi sama dengan gardu Portal, dengan penempatan kubikel jenis RMU atau modular dalam lemari panel (*metal clad*) yang terhindar dari air hujan dan debu, dan dipasangkan pada jaringan Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM).

2) Gardu Cantol

Gardu Cantol adalah tipe gardu listrik dengan transformator yang dicantolkan pada tiang listrik besarnya kekuatan tiang minimal 500 daN. Gardu cantol (*Single Pole Mounted distribution substation*), dimana transformator dan panel Tegangan Rendah menjadi satu yang dicantolkan pada tiang dan umumnya adalah transformator jenis *Completely Self Protected* (*CSP*).

a) Gardu Cantol sistem 3 kawat

Lazimnya untuk transformator fase ganda atau fase tiga sistem 3 kawat, tabung transformator berbentuk kotak dan dilengkapi dengan sirip radiator. Seluruh peralatan *Lightning Arester (LA)* dan rak TR harus ditambahkan dan dipasang pada tiang.

b) Gardu Cantol sistem 4 kawat

Perbedaan konstruksi Gardu Cantol sistem 4 kawat dengan sistem 3 kawat adalah pada konstruksi transformatornya dimana peralatan proteksi Tegangan Menengah (TM) dan Tegangan Rendah (TR)

sudah dalam transformator, sehingga konstruksi keseluruhan dapat disederhanakan.

Gambar 6-2. Gardu cantol 1 phasa.

Gambar 6-3. Gardu cantol 3 phasa.

D. Penyelenggaraan Konstruksi

1) Persiapan konstruksi dan proses perizinan

Perencanaan konstruksi gardu tiang lazimnya sudah harus menjadi satu kesatuan dengan perencanaan jaringan SUTM. Pastikan terlebih dahulu kebenaran peta rencana lokasi pendirian Gardu Distribusi, detil konstruksi dan perolehan izin lokasi gardu. Bila lokasi gardu berada di tanah sertifikat hak milik, harus diperoleh izin tertulis penggunaan tanah untuk gardu dari pemilik tanah.

Perhatikan kekuatan tiang beton atau besi untuk konstruksi gardu tiang yang direncanakan bagi penempatan transformator distribusi, pondasinya dan akurasi vertikalnya. Persiapkan seluruh komponen utama dan kelengkapan instalasi gardu tiang di lokasi. Termasuk yang harus diperhatikan adalah dimensi *crossarm* atau dudukan dengan jarak-jarak dan besar lubang yang dipersyaratkan.

Khusus transformator, periksa fisik transformator distribusi yang meliputi :

a) Packing transformator.

b) Periksa assesoris transformator, apakah sudah sesuai dengan syarat kontrak yang 2 disepakati, misalnya Termometer, *Oil Level, Buchholz Relay, Breather (silica gel).*

c) Periksa volume minyak pada gelas duga (*oil Level*) dan kebocoran pada 3 transformator.

d) Periksa Name Plate serta Sertifikat Transformator, apakah telah sesuai dengan 4 permintaan, pemeriksaan antara lain :

   - Daya/ Kapasitas : kVA.
   - Tegangan Sisi Teg. Tinggi : Volt.
   - Tegangan Sisi Teg. Rendah : Volt.
   - Vektor Group :
   - Tingkat Pengaturan Tegangan :

e) Pengujian Ketahanan Isolasi antara :

   - sisi Tegangan Rendah (TR) dengan sisi Tegangan Menengah (TM).
   - sisi Tegangan Rendah (TR) dengan bodi (E).
   - sisi Tegangan Menengah (TM) dengan bodi (E).

2) Handling Transportasi, Penaikan Transformator ke Tiang.

Kondisi kritis adalah pada saat memindahkan transformator, dari gudang ke lokasi pemasangan misalnya, juga pada saat penaikan atau penurunan transformator dari atau ke atas *truck*. Ketentuan penaikan atau penurunan transformator distribusi dari truk di haruskan menggunakan alat bantu *forklift*, *mobile-crane* atau *lifter truck* yang sudah dilengkapi lifter) atau minimal *tripod* yang dapat di rakit dilokasi.

Penggunaaan alat bantu *Rope Sling* dan *Wire Sling* hanya direkomendasikan untuk transformator berdaya < 100 kVA, dan posisi *sling* diletakkan di bawah

atau pada dasar dan melingkar pada transformator yang akan ditarik, karena tumpuan beratnya berada di dasar packing transformator.

Pelaksanaan penaikan/penurunan ke atau dari truk harus diperhatikan dengan seksama untuk memastikan tidak terjadinya kerusakan pada tangki transformator (bila menggunakan *forklift*) atau kerusakan isolator (umumnya bila menggunakan *crane* atau *tripod*). Pengangkutan transformator dari gudang penyimpanan ke lokasi gardu dipersyaratkan/tidak diperbolehkan adanya guncangan-guncangan pada saat dibawa dengan kendaraan.

3) Pemasangan Instalasi

a) Instalasi transformator distribusi.

Untuk instalasi ke atas tiang atau platform dudukannya, siapkan terlebih dahulu takle/lifter dengan kekuatan cukup di tiang beton pada penggantung cross-arm sementara untuk mengangkat transformator, naikkan transformator dengan seksama, vertikal keatas dan setelah duduk diatas crossarm tiang/dudukan pada tiang beton rakit dengan mur-baut yang erat.

b) Pemasangan Penghantar Pembumian.

Bagian-bagian yang harus dibumikan pada Gardu Tiang adalah :

- Titik netral sisi sekunder Transformator.
- Bagian konduktif terbuka (BKT) instalasi gardu.
- Bagian konduktif ekstra (BKE).
- Lightning arrester.

Tabel 6-1 : Instalasi Pembumian pada Gardu Portal.

No.	Uraian	Ukuran minimal penghantar pembumian
1.	Panel PHB TM (kubikel)	BC solid 16 mm2
2.	Rak kabel TM-TR	BC 50 mm2
3.	Pintu gardu/pintu besi/pagar besi	BC pita 16 mm2 (NYAF)
4.	Rak PHB TR	BC 50 mm2
5.	Badan transformator	BC 50 mm2

6.	Titik netral sekunder transformator	BC 50 mm2

Seluruh terminal pembumian tersebut disambung pada ikatan penyama potensial pembumian dan selanjutnya dihubungkan ke elektroda pembumian. Nilai tahanan pembumian tidak melebihi 1 Ohm. Titik netral transformator dibumikan tersendiri.

Pembumian *Lightning Arrester* (LA), pembumian BKT dan BKE, pembumian titik netral transformator dilakukan dengan memakai elektroda bumi sendiri-sendiri, namun penghantar pembumian *Lightning Arrester* dan BKT dan BKE dihubungkan dengan kawat tembaga 50 mm2. Penghantar-penghantar pembumian dilindungi dengan pipa galvanis dengan diameter 5/8 inci sekurang-kurangnya setinggi 3 meter diatas tanah.

c) Instalasi terminal kabel 20 kV pada *Ring Main Unit (RMU)*.

Pelaksanaan penyiapan kabel untuk instalasi terminal kabel. Jenis terminal kabel yang lazim digunakan adalah *plug in premoulded* yang sesuai dengan rancangan RMU bersangkutan. Perubahan konsep atau modifikasi terminal kabel dari yang dipersyaratkan pabrikan RMU sangat tidak diijinkan. Perhatikan ketentuan penyiapan kabel, pengepresan sepatu kabel dan instalasi plug-in terminal kabel pada kabel .

Untuk jenis sambungan berbeda material-misalnya terminal transformator dan kawat konduktor alumunium menggunakan bimetalic konektor.

d) Instalasi Kabel Tegangan Rendah.

Instalasi kabel tegangan rendah antara terminal tegangan rendah transformator dengan PHB tegangan rendah memakai kabel sekurang-kurangnya jenis NYY. Ukuran kabel disesuaikan dengan kapasitas transformator. Kabel dilindungi dengan pipa galvanis dengan diameter 4 inci sekurang-kurangnya setinggi 3 meter diatas tanah. Apabila menggunakan kabel dengan pelindung metal (NYFGbY), bagian pelindung metal harus dibumikan.

e) Penandaan Gardu Tiang.

Setiap Gardu Tiang harus diberi identitas yang meliputi :

- Nomor Gardu.
- Tanda peringatan (antara lain lambang kilat, tulisan tanda bahaya, dan lain-lain).
- Data historis gardu meliputi tanggal dibangun, No.SPK, nama pelaksana 3. pekerjaan, dicantumkan pada bagian dalam pintu PHB-TR. Seluruh bagian Gardu Tiang dicat dengan warna *silver bronze*. Jenis cat yang digunakan untuk bagian luar harus tahan perubahan cuaca.

f) Penyelesaian akhir (*finishing*).

Setelah tahapan konstruksi pemasangan gardu selesai, maka dilanjutkan dengan uji teknis dan komisioning sesuai dengan ketentuan yang berlaku, untuk kemudian diterbitkan Sertifikat Laik Operasi (SLO) oleh Badan yang berwenang.

BAB VII

PEMBUMIAN PERALATAN DAN SISTEM PADA GARDU INDUK

A. PENGERTIAN UMUM.

Pembumian sistem adalah hubungan secara kelistrikan antara sistem dengan tanah melalui transformator yang mempunyai belitan Y.

Kegunaan: (pada sistem 3 fasa) :

- Pengaman Sistem dari gangguan tanah.
- Pengaman Isolasi Peralatan Instalasi akibat tegangan lebih sewaktu gangguan fasa-tanah.

Pembumian Peralatan adalah hubungan antara peralatan listrik dengan tanah atau bumi.

Kegunaan:

- Sebagai pengaman bagi manusia dan peralatan instalasi jika terjadi kebocoran listrik pada peralatan.

B. MACAM ATAU JENIS PEMBUMIAN SISTEM.

1) Pentanahan melalui tahanan (*resistance grounding*).
2) Pentanahan melalui reaktor (*reactor grounding*).
3) Pentanahan langsung (*effective grounding*).
4) Pentanahan melalui reaktor yang impedansinya dapat berubah-ubah (*resonant grounding*) atau pentanahan dengan kumparan Petersen (*Petersen Coil*).

C. PEMBUMIAN NETRAL LANGSUNG (SOLID GROUNDED)

Netral Sistem dari transformator 3 fasa dengan hubungan Y yang dihubungkan langsung dengan tanah melalui elektroda cu. Tahanan pembumian harus serendah-rendahnya 0,5 – 3 ohm.

Pemasangannya:

Pada transformator tenaga yang dipasok dari sistem tegangan menengah Gardu Induk.

Keuntungan :

- Tegangan lebih pada phasa-phasa yang tidak terganggu relatif kecil.
- Kerja pemutus daya untuk melokalisir lokasi gangguan dapat dipermudah, sehingga letak gangguan cepat diketahui.
- Sederhana dan murah dari segi pemasangan

Kerugian :

- Setiap gangguan phasa ke tanah selalu mengakibatkan terputusnya daya.
- Arus gangguan ke tanah besar, sehingga akan dapat menimbulkan kerusakan pada peralatan listrik yang dilaluinya.

Arus gangguan tanah dihitung dengan memasukkan Reaktansi X_T dan Impedansi Z_L.

Arus gangguan tanah dipakai untuk penyetelan Relai Arus Lebih gangguan tanah.

Pembebanan pada transformator tenaga di Gardu Induk yang memasok kebeban:

- Bisa *single phase* (Transformator 1 fasa)
- Bisa *three phase* (Transformator 3 fasa)
- Beban tidak seimbang, kawat netral dialiri arus beban

D. PEMBUMIAN NETRAL MELALUI TAHANAN

Netral Sistem dari transformator 3 fasa dengan hubungan Y yang dihubungkan dengan tanah melalui tahanan

Gunanya :

Membatasi besar arus gangguan tanah tetapi relai gangguan tanah masih kerja baik

Pemasangannya :

Pada transformator tenaga yang dipasok pada sistem tegangan 70 atau 150 kV Gardu Induk.

Tahanan pembumian (*netral grounding resistance*) yang terpasang di Gardu Induk :

- NGR dengan tahanan 12 ohm.
- NGR dengan tahanan 40 ohm.

- NGR dengan tahanan 500 ohm.

Catatan: Nilai tahanan perlu dihitung yang didasarkan pada besarnya arus gangguan 1 fasa ketanah.

NGR (*Neutral Grounding Res*istance) adalah tahanan yang dipasang antara titik neutral trafo dengan tanah dimana berfungsi untuk memperkecil arus gangguan tanah yang terjadi sehinggadiperlukan proteksi yang praktis dan tidak terlalu mahal karena karakteristik rele dipengaruhi oleh sistem pentanahan titik neutral.

Gambar 7-1. NGR yang terpasang di Gardu Induk.

Arus gangguan tanah dihitung dengan memasukan Tahanan $3R_N$, Reaktansi X_T dan Impedansi Z_L .
Arus gangguan tanah dipakai untuk penyetelan Relai Arus Lebih gangguan tanah.

Keuntungan :

- Besar arus gangguan tanah dapat diperkecil

- Bahaya gradient voltage lebih kecil karena arus gangguan tanah kecil.
- Mengurangi kerusakan peralatan listrik akibat arus gangguan yang melaluinya.

Kerugian :

- Timbulnya rugi-rugi daya pada tahanan pentanahan selama terjadinya gangguan fasa ke tanah.
- Karena arus gangguan ke tanah relatif kecil, kepekaan relai pengaman menjadi berkurang.

E. PEMBUMIAN NETRAL MENGAMBANG (FLOATING)

Titik Netral Transformator hubungan Y tidak dihubungkan ke tanah.

Gunannya :

- Untuk sistem kecil, arus gangguan-tanah tidak membuat kejutan daya listrik pada pembangkit.
- Untuk sistem kecil, arus gangguan-tanah temporer bisa *self clearing*.

Saat terjadi Arus gangguan tanah timbul:

- Arus kapasitif jaringan.
- Tidak tergantung lokasi gangguan, besarnya tetap.
- Karenanya Relai gangguan tanah tidak selektif.
- Arus Kapasitif gangguan tanah besar sehingga menimbulkan Arcing.

Gangguan Fasa – tanah :

- Tegangan Fasa sehat naik 3 kali.
- Gang. Permanen, Tegangan sentuh tdk bahaya.
- Kawat putus yang tidak menyentuh tanah bahaya bila disentuh manusia.
- Sistem kecil, gangguan tanah tidak dirasakan konsumen tegangan rendah (TR).

Uraian vektor V dan I saat gangguan tanah :

- Segitiga tegangan sistem tidak berubah.
- Magnitude & sudut tegangan fasa sehat berubah.
- Magnitude I_{Ce} besar mengakibatkan gejala Arcing Ground.

Akibatnya : Udara yang belum kembali menjadi isolator kembali breakdown karena teg. fasa R yang naik s/d 3xEph.

Kejadian ini berulang pada setiap cycle dari gelombang sinusoidal, dan disebut Arcing Ground.

Kenaikan tegangan pada peristiwa *Arcing Ground* berbahaya bagi isolator diseluruh instalasi.

I_{CE} yang terlalu besar penyebab *Arcing Ground* harus dihindari agar tidak merusak peralatan.

Pembebanan :

- Tidak bisa single phase.
- Harus three phase (Trafo 3 fasa).
- Beban tidak seimbang di tegangan rendah (TR) maka di tegangan menengah (TM) dialiri arus urutan negatif.
- Pengukuran Beban sehingga bisa gunakan alat ukur 3 fasa 3 kawat.

F. PEMBUMIAN NETRAL MELALUI PETERSON COIL.

Netral Sistem dari transformator 3 fasa dengan hubungan Y yang dihubungkan dengan tanah atau bumi melalui reaktor induktif disebut Peterson coil

Nilai reaktansi Induktansi disesuaikan dengan nilai reaktansi kapasitansi jaringan.

Kegunaan :

- Arus kapasitif gangguan tanah yang besar dikecilkan agar tidak terjadi *Arcing Ground* yang berbahaya.
- Arus gangguan tanah temporer menjadi bisa *self clearing* kembali.

- Dapat mengkompensasikan arus kapasitif.

Tegangan Fasa- tanah dalam :

- Kondisi normal : Masih dapat terjaga seimbang, bila Ce seimbang.
- Kondisi gangguan tanah : tegegangan netral-tanah naik, tegangan fasa-tanah naik √3.

Bila terjadi arus gangguan tanah :

- Arus kapasitif jaringan dikompensir oleh arus I_L
- Tidak tergantung lokasi gangguan, besarnya tetap.
- Relai gangguan tanah tidak selektif.
- Arus gangguan tanah tidak membuat Arcing.

Keuntungan :

- Arus gangguan dapat dibuat kecil sehingga tidak berbahaya bagi mahluk hidup.
- Kerusakan peralatan sistem dimana arus gangguan mengalir dapat dihindari.
- Sistem dapat terus beroperasi meskipun terjadi gangguan fasa ketanah.
- Gejala busur api dapat dihilangkan.

Kerugian :

- Rele gangguan tanah (*ground fault relay*) sukar dilaksanakan karena arus gangguan tanah relatif kecil.
- Tidak dapat menghilangkan gangguan fasa ke tanah yang menetap (permanen) pada sistem.
- Operasi kumparan Petersen harus selalu diawasi karena bila ada perubahan pada sistem, kumparan Petersen harus disetel (*tuning*) kembali.

G. GROUNDING EQUIPMENT (PEMBUMIAN PERALATAN).

Pengertian Pembumian Peralatan :

- Pembumian peralatan adalah pentanahan yang menghubungkan kerangka/ bagian dari peralatan listrik terhadap ground (tanah).
- Pembumian ini pada kerja normal tidak dilalui arus.

Tujuan pembumian peralatan adalah sebagai berikut :

- Untuk mencegah terjadinya tegangan kejut listrik yang berbahaya bagi manusia bila pada peralatan listrik terjadi kebocoran listrik.
- Untuk memungkinkan timbulnya arus tertentu baik besarnya maupun lamanya dalam keadaan gangguan tanah tanpa menimbulkan kebakaran atau ledakan pada bangunan atau isinya.

Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya pentanahan :

- Tahanan jenis tanah.
- Panjang elektroda pentanahan.
- Luas penampang elektroda pentanahan.

DAFTAR PUSTAKA

Buku 4 : ***Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik***, PT. PLN (Persero) Tahun 2010.

Team O & M Transmisi dan Gardu Induk, ***Buku Petunjuk : OPERASI DAN MEMELIHARA PERALATAN UNTUK INSTALASI GARDU INDUK***, PT. PLN Pembangkitan Jawa Barat dan Jakarta Raya. 1996.

..........., ***KOMPONEN UTAMA JARINGAN DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK TEGANGAN MENENGAH***, PT. PLN (Persero) Tahun 2010.

John D. McDonald, ***Electric Power Substations Engineering*,** CRC Press Boca Raton London, New York, Washington D.C, 2004.

Artono Arismunandar dan Susumu Kuwahara, ***Teknik Tenaga Listrik Jilid III: Gardu Induk***, PT. Pradnya Paramita Jakarta, 1997.

............., ***LS SF6 Gas Insulated Switchgear***, LS-ro 127(Hogye-dong), Dongan-gu, Anyang-si, Gyeonggi-do 431-848, Korea, 2003.